

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Prof. Dr. F. Großmann

Vergleichende Untersuchungen über Ökologie, Biologie und Verhalten verschiedener Sitona-Arten

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

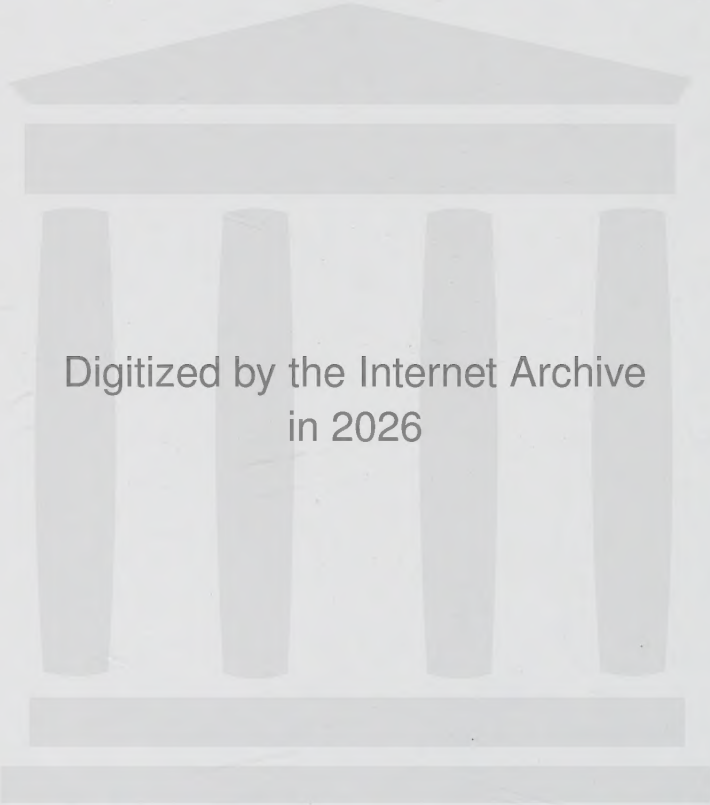
eingereicht von

Diplom-Landwirt

Ali Rezwani Gilkalai

aus Nowshahr/Iran

Gießen 1970



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545919_0042

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Prof. Dr. F. Großmann

Vergleichende Untersuchungen über Ökologie, Biologie und Verhalten verschiedener Sitona-Arten

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Diplom-Landwirt

Ali Rezwani Gilkalai

aus Nowshahr/Iran

Gießen 1970



D e k a n : Prof. Dr. F. Großmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Stein

2. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Linser

Tag der mündlichen Prüfung: 2. 3. 1970

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung und Fragestellung	5
2. Die untersuchten Käfer, ihre Herkunft und ihre Haltung im Laboratorium	7
3. Das Verhalten der Imagines im Gefälle abiotischer Faktoren	8
3.1 Temperatur	8
3.2 Licht	15
3.3 Feuchtigkeit	19
4. Jahres- und Tagesrhythmen verschiedener Aktivitäten	22
4.1 Laufaktivität	22
4.1.1 Allgemeiner Vergleich der Laufaktivität der Sitona-Arten	23
4.1.2 Tagesperiodik der Laufaktivität	23
4.1.3 Jahresperiodik der Laufaktivität	25
4.2 Flugaktivität	27
4.2.1 Flugbereitschaft der einzelnen Arten	28
4.2.2 Jahresperiodik der Flugbereitschaft	28
4.2.3 Abhängigkeit des Fluges von abiotischen Faktoren	31
4.3 Fraßaktivität	34
4.3.1 Fraßaktivität im Laufe des Tages	35
4.3.2 Fraßaktivität im Laufe des Jahres	35
4.4 Eiablageaktivität	38
4.4.1 Beginn und Dauer der Eiablage im Laufe des Jahres	39
4.4.2 Tagesperiodik der Eiablageaktivität	41
5. Nahrungsbedarf der Imagines und seine Abhängigkeit von verschiedenen abiotischen Faktoren	43
5.1 Nahrungsbedarf	43
5.2 Der Einfluß der Temperatur auf die Fraßstärke	46

	<u>Seite</u>
5.3 Einfluß der Temperatur auf die Nahrungs- aufnahme in verschiedenen Jahreszeiten	48
5.4 Einfluß der Lichtstärke auf die Fraßstärke	49
6. Untersuchungen über Eizahl, Eientwicklung und Schlüpfrate	51
6.1 Anzahl der Eier	51
6.2 Entwicklung	52
6.21 Entwicklungsdauer unter optimalen Bedingungen	53
6.22 Einfluß der Temperatur auf die Ent- wicklungsdauer	53
6.23 Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklungsdauer	55
6.3 Einfluß von Temperatur und Luftfeuchtig- keit auf die Schlüpfrate	55
7. Die Formen der Überwinterung bei den behandel- ten <u>Sitona</u> -Arten	60
8. Beobachtung über die Verteilung der Larven im Boden	64
9. Zusammenfassender Vergleich der untersuchten <u>Sitona</u> -Arten	66
10. Zusammenfassung	70
11. Literatur	73

1. Einleitung

Rüsselkäfer der Gattung Sitona kommen an verschiedenen Kultur- und Wildleguminosen, teilweise in sehr hoher Populationsdichte vor. Die Imagines dieser Arten fressen an den Blättern, während sich die Larven von Bakterienknöllchen (Andersen 1931, Forsythe and Gyrisco 1962, Lehmann 1933, Markkula 1959 u. a.) oder von Pflanzenwurzeln (z. B. die Larven von S. hispidulus nach Leach et al. 1961, Stein 1967, Thompson + Willis 1967, Turner 1957, Wildermuth 1910) ernähren.

In Mitteleuropa erreichen etwa 8-10 Arten eine höhere Abundanz. Sie sind in Größe und Gestalt recht ähnlich, unterscheiden sich aber in ihren Hauptwirtspflanzen und ihrem Verhalten teilweise erheblich.

So kommt z. B. S. lineatus hauptsächlich an Erbsen, Bohnen und Luzerne vor, S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens an Rotklee, während S. humeralis praktisch nur auf Luzerne in hoher Dichte zu finden ist (Dickler 1968, Geiler 1964 + 1967, Miller 1963, Markkula 1959, Schnell 1955).

Die Besiedlung neuer Lebensräume durch verschiedene Arten dieser Gattung geht nach Untersuchungen von Dickler (1968) teilweise sehr unterschiedlich vor sich: S. lineatus, S. humeralis und S. flavescens besiedeln sehr schnell die ganze Fläche, während es bei S. sulcifrons und S. hispidulus sehr viel langsamer geht. Auch im Aufenthaltsorte zeigen die Arten Unterschiede: S. flavescens und S. hispidulus halten sich oft an der Bodenoberfläche auf, während die anderen Arten hauptsächlich in der Krautschicht in großer Zahl zu finden sind (Jackson 1921 b, Schnell 1955).

Dieses unterschiedliche Verhalten und Vorkommen der Arten ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, von denen

die Umweltfaktoren eine wichtige Rolle spielen dürften. Ihre Wirkung auf die Tiere kann im Laboratorium experimentell analysiert werden, besonders im Präferenzversuch, in dem nur ein Faktor variiert wird, während die anderen Faktoren völlig oder weitgehend konstant gehalten werden.

In bisherigen Arbeiten wurden einige ökologische Probleme empirisch behandelt; etwas ausführlicher konnten Andersen (1934 a, 1934 b) und Hans (1959) über allgemeine Fragen von S. lineatus berichten, doch konnten ihre Angaben spezielle Fragen nicht beantworten.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch geeignete Laboratoriumsmethoden Unterschiede zwischen den Arten aufzuzeigen, um so eventuell verschiedenes Verhalten und Vorkommen erklären zu können. Dies sollte z. B. durch Versuche geschehen, in denen die Präferenz der Arten für Temperatur, Licht und Luftfeuchtigkeit ermittelt wurde. Durch ähnliche Untersuchungen konnte z. B. die Lebensweise von Carabiden erklärt werden (Kirchner 1960, Lauterbach 1964, Lehmann 1962, Paarmann 1966 und Thiele 1964).

Weitere Versuche dienten u. a. dazu, Unterschiede bei einigen Aktivitäten (Lauf, Flug, Frass, Eiablage) zu ermitteln und deren Veränderungen im Tages- und Jahresablauf festzustellen.

2. Die untersuchten Käfer, ihre Herkunft und ihre Haltung im Laboratorium

Für die Untersuchungen wurden folgende, mit ihren Hauptwirtspflanzen genannten Sitona-Arten herangezogen:

S. lineatus L. (Erbsen, Bohnen, Luzerne)

S. humeralis Steph. (Luzerne)

S. sulcifrons Thunb. (Rotklee)

S. flavescens Marsh. (Rotklee)

S. hispidulus F. (Rotklee)

Die Käfer wurden von verschiedenen Standorten des Raumes Giessen an ihren spezifischen Wirtspflanzen jede Woche einmal durch Kätscherungen gefangen.

Da die Käfer in den Wintermonaten bis Mitte April im Freiland nur sehr schwer in großer Menge zu finden sind, mußten sie für die Untersuchungen in dieser Zeit in Laboratoriumszuchten gehalten werden. Dafür wurden je 10 bis 15 Käfer in einer Glaspetrischale ($\varnothing$ 9 cm) aufbewahrt und mit entsprechenden Wirtspflanzen (S. lineatus und S. humeralis mit Luzerne, S. sulcifrons, S. flavescens und S. hispidulus mit Rotklee) gefüttert. Die Blätter wurden in ein Glasröhrchen gesteckt, das mit Wasser gefüllt und mit Plastilin abgedichtet war. Auf diese Weise konnte das Futter einige Tage frisch gehalten werden.

S. flavescens war im Laboratorium im Spätherbst nur schwer zu halten. Die Käfer starben meist im Dezember, weswegen die Untersuchungen mit dieser Art im Winter und Frühjahr nicht vollständig durchgeführt werden konnten. Die anderen Arten überlebten dagegen den Winter unter Laboratoriumsbedingungen gut.

3. Das Verhalten der Imagines im Gefälle abiotischer Faktoren (Präferenzversuche)

In den nachfolgend geschilderten Untersuchungen sollte experimentell ermittelt werden, ob die verschiedenen Sitona-Arten unterschiedliche Ansprüche an einzelne abiotische Faktoren stellen.

Die Versuche waren über das ganze Jahr verteilt, um die Ergebnisse und ihre Verschiebung in den verschiedenen Jahreszeiten festzustellen. Nur von S. flavescens fehlen aus dem oben angeführten Grund die Resultate von Januar bis April. Die Winterwerte resultieren nur aus den Dezemberdaten.

3.1 Temperatur

Methode

Die Temperaturpräferenz wurde in einer linearen Temperaturorgel ermittelt. In eine 50 cm lange Aluminiumschiene waren zwei getrennte Laufrinnen von 1 cm Breite und 2 mm Tiefe eingefräst, die oben durch eine Glasplatte abgedeckt waren. Durch elektrische Beheizung auf der einen und Eiskühlung auf der anderen Seite wurde ein Temperaturgefälle von +44 bis +4°C erreicht. Nach einer Eingewöhnungszeit von 30 Minuten wurde der Aufenthaltsort der Käfer (je Versuch 8 Männchen bzw. 8 Weibchen) alle 5 Minuten (insgesamt 10 mal je Versuch) notiert. Die Versuche liefen bei konstanter Belichtung (Osram Leuchtstoffröhre 60 W dtx, 500 Lux). Jede Variante konnte vier- bis fünfmal monatlich wiederholt werden.

Ergebnisse

Die Resultate der Temperaturorgelversuche ergaben, daß sich die einzelnen Arten teilweise unterschiedlich im Temperaturgradienten verteilten, daß die Reaktion einer Art nicht das ganze Jahr über gleich ist, und daß sich

Tabelle 1: Die Verteilung der einzelnen Sitona-Arten in der Temperaturorgel im Durchschnitt aller Versuche (Angaben in %)

Temperatur- bereich in °C	Temperaturstufen									Temperatur- index
	1 4-6	2 6-12	3 12-16	4 16-21	5 21-25	6 25-29	7 29-33	8 33-38	9 38-44	
<u>Weibchen:</u>										
<i>S. lineatus</i>	15	18	13	15	12	15	10	2	0	3,86
<i>S. humeralis</i>	14	23	21	13	11	12	6	0	0	3,44
<i>S. sulcifrons</i>	15	27	12	12	12	9	10	3	0	3,61
<i>S. flavescens</i>	12	27	23	14	10	8	5	1	0	3,32
<i>S. hispidulus</i>	21	39	17	8	6	5	4	1	0	2,78
<u>Männchen:</u>										
<i>S. lineatus</i>	9	23	17	12	18	14	6	1	0	3,78
<i>S. humeralis</i>	11	24	21	14	15	12	3	0	0	3,46
<i>S. sulcifrons</i>	13	20	17	14	19	11	5	1	0	3,64
<i>S. flavescens</i>	11	27	26	14	10	9	2	1	0	3,25
<i>S. hispidulus</i>	30	36	14	6	6	5	3	0	0	2,49

auch die Geschlechter voneinander abweichend verhalten.

Zunächst ist in der Tabelle 1 die Verteilung der Käfer in den verschiedenen Temperaturbereichen der Orgel im Durchschnitt aus allen Versuchen angegeben (Durchschnitt von 63 Wiederholungen in 14 Monaten).

Für eine allgemeine Beurteilung wurde ein in der letzten Spalte angegebener Temperaturindex berechnet, Die Indexzahl ergab sich daraus, daß die jeweilige Prozentzahl der an einem Ort befindlichen Käfer mit der Nummer des jeweiligen Temperaturintervalls (s. Tab. 1) multipliziert wurde. Die Summe aller Produkte wurde dann durch 100 dividiert: der so erhaltene Wert ergab die Indexzahl. Je höher diese also ist, um so wärme-liebender ist die Art.

Wie die Tabelle 1 zeigte, unterscheiden sich die Sitona-Arten nach ihren Präferenzverhalten teilweise sehr deutlich. S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons zeigen ähnliche Vorzugsbereiche, wobei S. humeralis, wie die niedrigen Indices vor allem bei Weibchen zeigen, die kälteren Bereiche allerdings etwas mehr bevorzugt.

S. flavescens und vor allem S. hispidulus sind gegenüber den anderen Arten kältepräferenter und zeigen durch stärkere Konzentration in einem engeren Bereich, daß sie auch stenothermer als die übrigen Arten sind.

Die Männchen stellen entweder fast die gleichen Temperaturansprüche wie die Weibchen (S. humeralis und S. sulcifrons) oder bevorzugen etwas mehr die kälteren Teile der Orgel (übrige Arten, vor allem S. hispidulus).

Betrachtet man die Temperaturpräferenz der Sitona-Arten im Verlauf eines Jahres, so sieht man, daß diese bei

einigen Species Schwankungen unterworfen ist, während andere Arten ein recht konstantes Verhalten zeigen. Zur ersten Gruppe gehören S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons. Diese Arten weisen in den Wintermonaten eine stärkere Konzentration in den kälteren Bereichen auf. Sie verteilen sich in den Frühjahrs- und Herbstmonaten in fast allen Zonen der Temperaturorgel gleichmäßig, während in den Sommermonaten eine größere Ansammlung in den wärmeren Bereichen zu beobachten ist.

Charakteristisch für diese drei Arten ist somit während der meisten Zeit des Jahres eine Angleichung der Temperaturpräferenz im Versuch an den normalen Temperaturverlauf im Freiland. Diese Arten können somit zu einer Gruppe zusammengefaßt werden.

Dagegen besitzen S. flavescens und S. hispidulus diese Anpassung nicht, d. h., es wird keine deutliche Präferenzverschiebung im Laufe des Jahres beobachtet. Sie sind vielmehr während des ganzen Jahres ziemlich konstant kältepräferent.

Als Beispiel für das unterschiedliche Verhalten sind in Abb. 1 die Indexzahlen für S. sulcifrons (variable Gruppe) und S. flavescens (konstante Gruppe) in den 4 Jahreszeiten eingezeichnet.

Ein anderes Phänomen trat bei den Versuchen zutage, auf das kurz eingegangen werden soll.

S. lineatus, S. humeralis und vor allem S. sulcifrons zeigten in den Sommermonaten in ihrer Temperaturpräferenzkurve eine Zweigipfligkeit. Ein Teil der Käfer bevorzugt das ganze Jahr hindurch den Temperaturbereich 6 bis 12°C, während ein anderer Teil - wie die Abb. 2 als Beispiel bei S. sulcifrons erkennen läßt - sich von

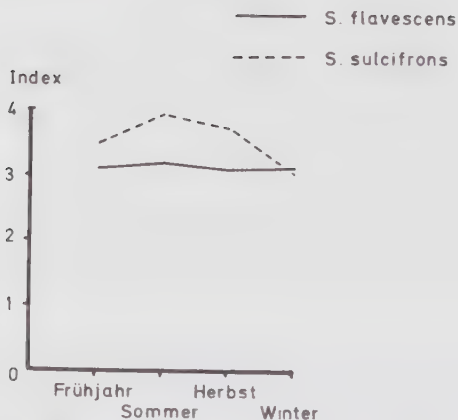


Abb. 1: Präferenzverschiebung von *S. flavescens* und *S. sulcifrons*

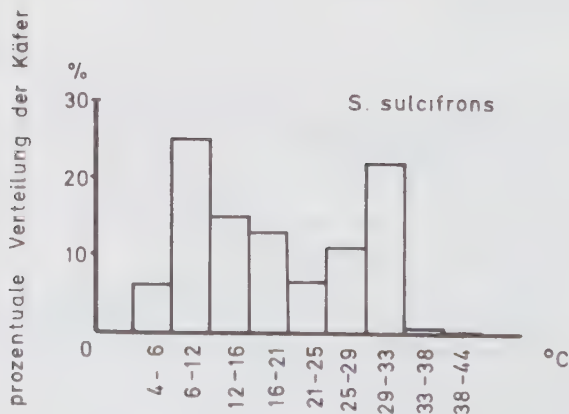


Abb. 2: Die Temperaturpräferenz der Weibchen von *S. sulcifrons* in den Sommermonaten (Mai bis Oktober)

Mai bis Oktober im wärmeren Teil der Orgel konzentrieren.

Die Temperaturpräferenz ist bei den Arten der oben genannten ersten Gruppe für die verschiedenen Altersstufen der Imagines unterschiedlich. Die frisch geschlüpften Käfer von S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons zeigten eine deutliche Präferenz für niedrigere Temperatur als die alten Käfer zur gleichen Zeit. In der Tabelle 2 wurden als Beispiele die Verteilungen in der Orgel der Jung- und Altkäfer von S. lineatus angegeben.

Tabelle 2: Temperaturpräferenz von Jung- und Altkäfern

Temperaturbereich	Prozentuale Verteilung der Käfer	
	Jungkäfer	Altkäfer
4- 6 °C	18	13
6-12	26	19
12-16	17	15
16-21	8	14
21-25	7	15
25-29	11	14
29-33	9	7
33-38	4	3
38-44	0	0

Bei den Arten der 2. Gruppe (S. flavescens und S. hispidulus) konnten so eindeutige Unterschiede nicht ermittelt werden.

Diskussion der Ergebnisse

Wie die Untersuchungen ergaben, verhalten sich die Arten gegenüber der Temperatur zum Teil unterschiedlich. Arten, die im Freiland für ihre Aktivität höhere Temperatur brauchen, bevorzugten auch in diesem Versuch höhere

Werte: so wurde z. B. S. lineatus schon von Andersen (1931) als wärmepräferent bezeichnet. Er stellte dabei fest, daß diese Art nur zur Eiablage kommt, wenn eine Tagesmitteltemperatur von 13°C erreicht wird. Dagegen können S. hispidulus und S. flavescens (allerdings auch S. sulcifrons) nach Markkula und Roivainen (1961) in Freiland ihre Eier bereits bei wesentlich niedrigeren Temperaturen, nämlich 7-8°C, ablegen.

S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons unterscheiden sich von den zwei anderen Arten auch dadurch, daß sie dem normalen Temperaturverlauf in der Natur angepaßt sind und eine Präferenzverschiebung im Laufe des Jahres aufweisen. Eine solche Präferenzverschiebung konnte auch bei Agonum assimile (Carabidae) von Thiele (1967) beobachtet werden.

Im Gegensatz zu dem letztgenannten Laufkäfer folgten die drei Sitona-Arten dem Gang der Außentemperaturen im Winter auch dann, wenn sie während dieser Zeit bei Zimmertemperatur gehalten wurden. Es müssen deshalb andere Faktoren als die Temperatur, vermutlich endogene, für das Verhalten der Käfer im Winter verantwortlich gemacht werden.

S. hispidulus und S. flavescens besitzen in allen Jahreszeiten einen fast gleichen, relativ niedrig liegenden, Vorzugstemperaturbereich. Im Freiland leben sie vornehmlich an der Bodenoberfläche (Dickler 1968, Markkula + Köppä 1960, Schnell 1955), also in einem Lebensraum, der im Vergleich zur Krautschicht konstanter in den Bedingungen ist und dessen Temperatur durchweg niedriger liegt (Geiger 1950). Dieses stenotherme Verhalten mag ein Grund dafür sein, daß S. hispidulus im Hochsommer seine Aktivität weitgehend einstellt und von Juni bis Mitte August eine Ruheperiode besitzt (Bigger 1930, Marshall und Wilbur 1934, Rautapää und Markkula 1966).

Auch Phillips und Ditman (1962) meinen, daß der Aktivitätszyklus von S. hispidulus von saisonalen Temperaturänderungen (Durchschnittstemperatur) abhängig ist.

Eine Erklärung für die Zweigipfligkeit der Temperaturpräferenz von S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons ist zur Zeit nicht möglich.

Eine Anpassung an die Außenbedingungen ist zunächst bei den frisch geschlüpften Käfern von S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons nicht vorhanden. Der Vorzugstemperaturbereich liegt trotz der hohen Jahrestemperatur niedrig. Unterschiede zwischen alten und jungen Käfern wurden auch bei Apion virens von Stein (1968) nachgewiesen. Vielleicht ist das Verhalten darauf zurückzuführen, daß die Kutikula so kurz nach dem Schlüpfen noch nicht genug erhärtet ist und die Tiere deshalb vor den hohen Temperaturen flüchten.

3.2 Licht

Methode

Zur Ermittlung der Helligkeitspräferenz wurde eine kreisförmige Lichtorgel konstruiert, die weitgehend mit der von Thiele (1967) beschriebenen übereinstimmt. Der Durchmesser der ganzen Orgel betrug 33 cm, die einzelnen Kammern hatten eine Höhe von 5 mm.

Unter Verwendung einer ringförmigen Leuchtstoffröhre (Osram-L 32 W/25C) wurden mit Hilfe verschiedener Lagen Transparentpapier folgende Lichtstufen erreicht:

o	Lux
400	"
1.200	"
1.600	"
2.000	"

Die Lichtintensität wurde mit Hilfe eines Luxmeters (Fa. Grossen, Typ Candela) ermittelt. Die Versuche wurden in einer Dunkelkammer bei annähernd konstanter Temperatur ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$) durchgeführt. Auch hierbei wurde nach 30 Minuten Eingewöhnung alle 5 Minuten (insgesamt 10 X) der Aufenthaltsort der Käfer notiert. Die Versuche konnten im Laufe von 14 Monaten insgesamt 65mal wiederholt werden.

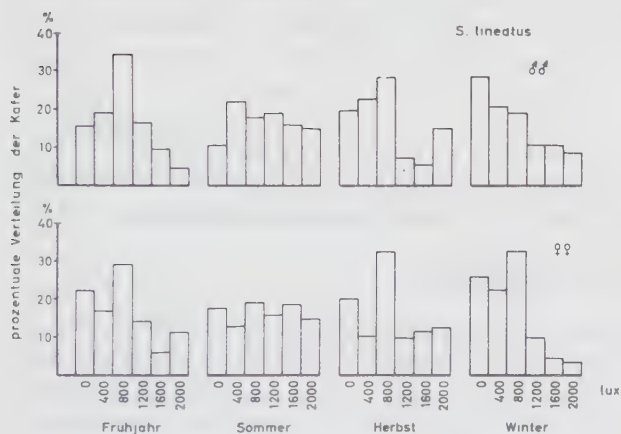
Ergebnisse

Die bereits im Abschnitt Temperaturpräferenz angeführten zwei Gruppen der Sitona-Arten können auch im Hinblick auf die Einstellung zum Licht beibehalten werden. Bei der 1. Gruppe ändert sich die Reaktion im Laufe des Jahres in charakteristischer Weise. Als Beispiel sei hier S. lineatus herausgegriffen.

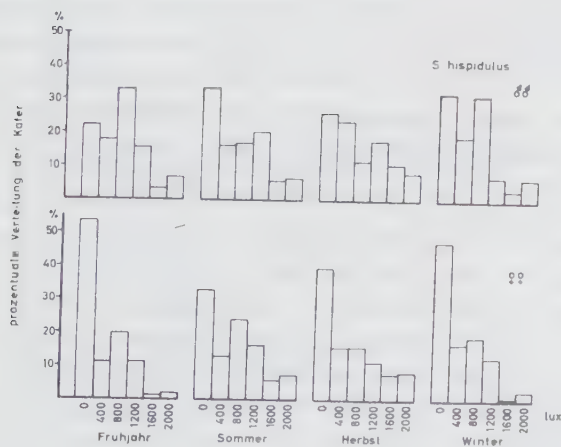
Wie die Abb. 3a zeigt, sind die Käfer (vor allem die Männchen) im Winter ausgesprochen dunkelpräferent. Im Frühjahr verschiebt sich das Maximum deutlich in den helleren Teil (bei 800 Lux). In den Sommermonaten liegt dann eine fast gleichmäßige Verteilung in der Orgel vor, während im Herbst die Tendenz wieder deutlich zu erkennen ist, daß sich die Tiere - ähnlich wie im Frühjahr - in den mittleren Lichtstufen und im dunkleren Teil konzentrieren.

Ganz ähnlich verhalten sich auch die beiden anderen Arten dieser Gruppe, S. humeralis und S. sulcifrons: Während sie sich in den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten in den Stufen mit 0 und 400 Lux konzentrieren, ist ihre Verteilung in den Sommermonaten in der Orgel gleichmäßig.

Eine etwas andere Einstellung zum Licht zeigen die Vertreter der zweiten Gruppe: S. hispidulus und S. flavescens. Wie die Abb. 3b zeigt, bevorzugt S. hispidulus praktisch das ganze Jahr über die dunkleren Teile der Orgel von



a



b

Abb. 3: Die Verteilung von *S. lineatus* und *S. hispidulus* in der Lichtorgel im Laufe des Jahres.

0 bis 800 Lux. Selbst im Sommer liegt das Maximum der Ansammlung noch im ganz dunklen Sektor. - Das gleiche läßt sich auch von S. flavescens sagen, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß diese Art von Januar bis April nicht untersucht werden konnte.

Gewisse Unterschiede zwischen den Geschlechtern sind, wie auch die Abbildungen zeigen, in manchen Jahreszeiten zu erkennen, doch sind diese nicht grundlegender Natur.

Diskussion der Ergebnisse

Bei den Lichtorgelversuchen wurde festgestellt, daß S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons gegenüber S. hispidulus und S. flavescens mehr die helleren Sektoren der Orgel bevorzugen und in verschiedenen Jahreszeiten eine unterschiedliche Präferenz aufweisen. Die Präferenzverschiebungen im Laufe des Jahres zum helleren Teil hin und wieder zurück hat vermutlich eine Beziehung zu der Temperatur in dem Sinne, daß bei steigender Temperatur im Freiland die Helligkeitspräferenz der Käfer erhöht wird. Hans (1959) hat S. lineatus bei verschiedenen Temperaturen mit verschiedenen Lichtintensitäten untersucht und dabei festgestellt, daß dieser Käfer bei höherer Temperatur den helleren und bei niedriger Temperatur den dunkleren Teil der Orgel bevorzugt.

Die Vorzugshelligkeit von S. lineatus, S. humeralis und S. sulcifrons von Frühjahr bis Herbst entspricht etwa der Lichtmenge in dem oberen Teil der Krautschicht, also dort, wo sich diese Käfer am meisten aufhalten. (Nach eigener Messung betrug die Lichtstärke innerhalb der Krautschicht an einem sonnigen Tag in den Mittagsstunden etwa 1000 Lux.)

Auch bei S. hispidulus und S. flavescens, die hauptsächlich an der Bodenoberfläche unter konstanteren Lichtbedingungen leben, zeigt sich eine Übereinstimmung mit dem

Verhalten im Freiland: die Arten konzentrieren sich in der Orgel mehr im dunklen Teil und lassen fast keine Veränderung ihrer stenophoten Reaktion im Laufe des Jahres erkennen.

3.3 Feuchtigkeit

Methode

Für die Feuchtigkeitsversuche wurde eine kreisförmige Orgel verwendet, wie sie Thiele (1964) näher beschrieb. In dieser Orgel ($\varnothing$ 19 cm) ist eine untere Schale in Sektoren eingeteilt, die mit Salzbreien oder Wasser gefüllt werden können. Die Versuchstiere befinden sich in einem Aufsatz, der ebenfalls in gleicher Weise wie die untere Schale in Sektoren geteilt und von dieser nur durch Perlongaze getrennt ist. In diesem oberen Teil der nach außen völlig geschlossenen Apparatur stellt sich in den einzelnen Sektoren eine Luftfeuchtigkeit ein, die von den darunter befindlichen Substanzen abhängig ist. Durch schmale Verbindungen unmittelbar über der Gaze können die Käfer sich in der ganzen Orgel frei bewegen und jene Feuchtigkeitsbereiche aufsuchen, die ihnen am meisten zusagen.

Durch Anwendung von Wasser und verschiedenen Salzbreien wurden folgende Luftfeuchtigkeitsstufen erreicht:

H_2O	100 %
K_2SO_4	90 %
NaCl	75 %
$Ca(NO_3)_2$	55 %
$CaCl_2$	40 %

Die Überprüfung der Feuchtigkeitswerte erfolgte mit Hilfe einer Farbmeßfolie (Firma Union-Seidengaze, Meßgenauigkeit ± 5 %). Der Aufenthaltsort der Käfer wurde nach 30 Minuten Eingewöhnung alle 5 Minuten (insgesamt

lo mal) notiert. Die Versuchsanordnung stand in einer Kammer mit etwa 20°C und 200 Lux Beleuchtung. In 14 Monaten konnten insgesamt 65 Wiederholungen durchgeführt werden.

Ergebnisse

In den Versuchen erwies es sich, daß S. hispidulus auch hinsichtlich der Reaktion auf die Luftfeuchtigkeit eine Sonderstellung einnimmt: Während diese Art nur im Sommer eine homogene Verteilung in der Orgel aufweist, in allen anderen Jahreszeiten aber eindeutig den trockenen Teil bevorzugt, zeigen alle übrigen Arten einschließlich S. flavescens während des ganzen Jahres eine fast gleichmäßige Dispersion. Höchstens im Winter ließ sich die Tendenz erkennen, daß auch von ihnen die niedrigeren Feuchtigkeitswerte bevorzugt werden.

Die Ergebnisse sind in Abb. 4 von S. hispidulus und - repräsentativ für die übrigen Arten - von S. lineatus dargestellt.

Diskussion

Eine Deutung der Ergebnisse stößt auf Schwierigkeiten. So ist es verwunderlich, daß S. hispidulus fast das ganze Jahr über geringe Luftfeuchtigkeit bevorzugt, während er niedere Temperatur präferiert und sich vornehmlich in jenen Zonen des Lebensraumes aufhält, die normalerweise die höchsten Luftfeuchtigkeitswerte (Geiger 1950) aufweisen.

Die gleichmäßige Verteilung der übrigen Arten läßt den Schluß zu, daß sie weitgehend euryhydr sind und daß andere Faktoren als die Luftfeuchtigkeit, wie auch schon bei S. hispidulus, für ihr Verhalten im Freiland von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Die Tendenz, in den Wintermonaten trockene Zonen aufzusuchen (wie es für S. hispidulus auch von Phillips und

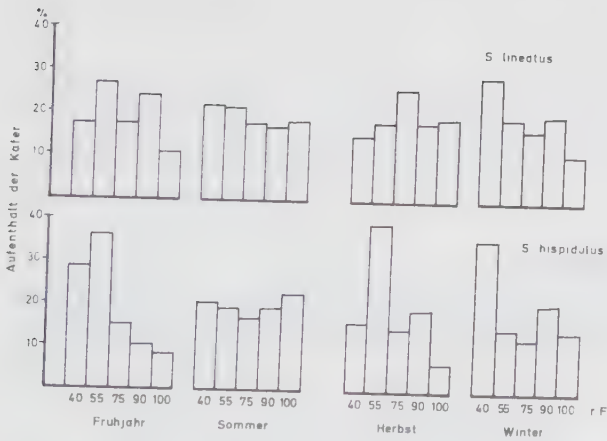


Abb. 4: Die Verteilung von *S. lineatus* und *S. hispidulus* in der Feuchtigkeitsorgel unter Berücksichtigung verschiedener Jahreszeiten.

Ditman 1962 beschrieben wird) kann eventuell einen positiven Auslesewert besitzen: durch die niedrige Luftfeuchtigkeit der Umgebung wird die Konzentration der Körperflüssigkeit erhöht und damit sinkt die Gefahr einer Schädigung durch tiefe Temperatur.

4. Jahres- und Tagesrhythmen verschiedener Aktivitäten

Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, daß die Aktivitäten vieler Insekten im Tages- oder Jahresablauf nicht gleich sind.

Ob auch die untersuchten Sitona-Arten im Laufe des Tages bzw. Jahres ihre Aktivitäten ändern, sollte durch die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen ermittelt werden.

4.1 Laufaktivität

Die Laufaktivität der Tiere spielt neben der Flugaktivität vor allem für Wanderung oder Ausbreitung eine wichtige Rolle.

Methode

Von jeder Art wurden jeweils zwei Weibchen bzw. zwei Männchen in Petrischalen gesetzt und bei konstanter Temperatur (22°C) im Thermostat durchgehend von 8 bis 18 Uhr beobachtet. Die Lichtstärke im Thermostat schwankte zwischen 30 und 200 Lux (natürliches Licht). Es wurde alle zwei Minuten registriert, ob die Tiere zu diesem Zeitpunkt liefen oder still saßen (30 Kontrolle je Stunde). Die Untersuchungen wurden in den Monaten Mai bis November in zwei bis drei Wiederholungen je Art d. h. 4 oder 6 Weibchen bzw. Männchen je Art, und Monat, durchgeführt. Somit standen je Monat und Geschlecht 1.200 bzw. 1.800 Einzelbeobachtungen jeder Art für die Auswertung zur Verfügung. Die Zahl der Kontrollen, bei denen die Tiere liefen, wurde als Maß der Aktivität gewertet.

4.11 Allgemeiner Vergleich der Laufaktivität der Sitona-Arten

Die Abb. 5 zeigt, daß die Laufaktivitäten der untersuchten Arten sich mehr oder weniger voneinander unterscheiden.

S. flavescens ist im Vergleich zu den anderen Arten sehr aktiv und der Prozentsatz laufender Käfer ist relativ groß.

S. lineatus zeigt zwar geringere Aktivität als S. flavescens, ist aber im Vergleich zu anderen Arten noch recht aktiv. Als dritte laufaktive Art wurde S. hispidulus nachgewiesen, obwohl diese Art bei den anderen Aktivitätsversuchen immer an letzter Stelle steht.

S. humeralis und ganz besonders S. sulcifrons weisen nur geringe Aktivität auf.

Ein Unterschied zwischen den Geschlechtern konnte nur bei S. flavescens festgestellt werden. Hier sind die Männchen in fast allen Monaten wesentlich aktiver als die Weibchen (Abb. 6).

4.12 Tagesperiodik der Laufaktivität

Die Ergebnisse eines jeden Monats wurden in die zwei Zeitabschnitte 8-13 Uhr (= Vormittag) und 13-18 Uhr (= Nachmittag) zusammengefaßt.

Es stellte sich heraus, daß vor allem S. flavescens und in geringerem Maße S. lineatus, einen tageszeitlichen Rhythmus in der Laufaktivität aufweisen. Die Ergebnisse für S. flavescens sind in der Abb. 7 dargestellt. Diese Art ist in fast allen Untersuchungsmonaten in den Nachmittagsstunden deutlich laufaktiver als in den Vormittagsstunden.

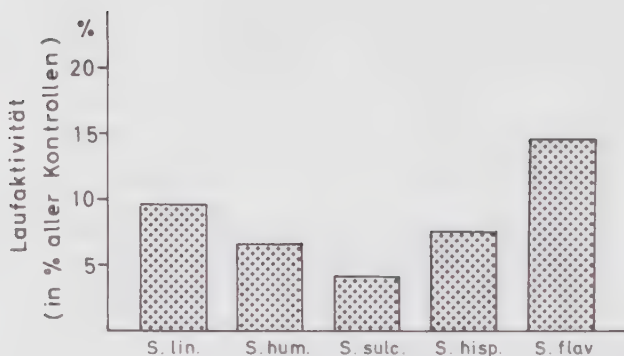


Abb. 5: Laufaktivität der untersuchten Sitona-Arten

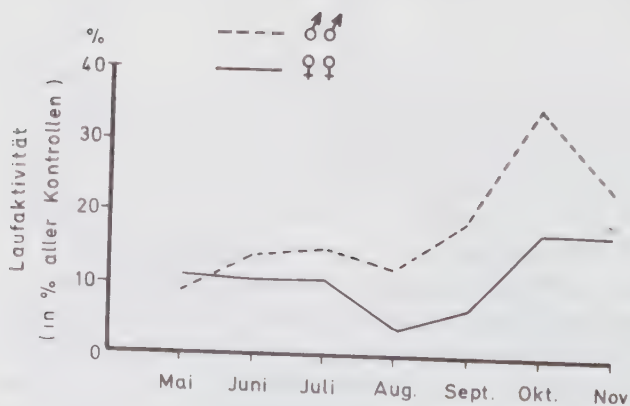


Abb. 6: Die Laufaktivität der Männchen und Weibchen von S. flavescens in den verschiedenen Monaten

Im Gegensatz dazu war S. lineatus in den Monaten Juli bis November in den Vormittagsstunden etwas aktiver.

Die übrigen Arten zeigten keine so klaren Ergebnisse.

Ein Unterschied im Verhalten der beiden Geschlechter konnte in diesen Versuchen bei keiner Art beobachtet werden, weshalb die Ergebnisse zusammengefaßt wurden.

4.13 Jahresperiodik der Laufaktivität

Die in jedem Monat gewonnenen Ergebnisse sind in der Abb. 8 für alle Arten zusammengefaßt. Wie aus dieser Darstellung, aber auch schon aus den Abb. 6 und 7, deutlich hervorgeht, ist die Laufaktivität der untersuchten Arten nicht in allen Monaten gleich.

Bei S. lineatus liegt je ein Minimum im Juni und September und ein deutliches Maximum im Oktober.

S. humeralis weist im Laufe der Versuchszeit im Juni und September zwei Zeiten erhöhter Laufaktivität auf. Dagegen ist S. sulcifrons eine Art, die in allen Untersuchungsmonaten sehr träge ist und nur im September eine geringe Verstärkung der Aktivität erkennen läßt. Das Maximum für S. hispidulus und S. flavescens liegt im Oktober.

Diskussion

Die unterschiedliche Laufaktivität der Sitona-Arten hat zweifellos eine Auswirkung auf die Wanderungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeit der einzelnen Arten. Dies kommt zum Beispiel bei der Besiedlung von neu angelegten Leguminosenkulturen zum Ausdruck, die von Dickler (1968) eingehend untersucht wurde. Dickler hat S. flavescens, S. sulcifrons und S. hispidulus als Fußwanderer bezeichnet und dabei festgestellt, daß S. flavescens laufend ein Vielfaches der Entfernung zurücklegt, die von den zwei anderen genannten Arten erreicht wird.

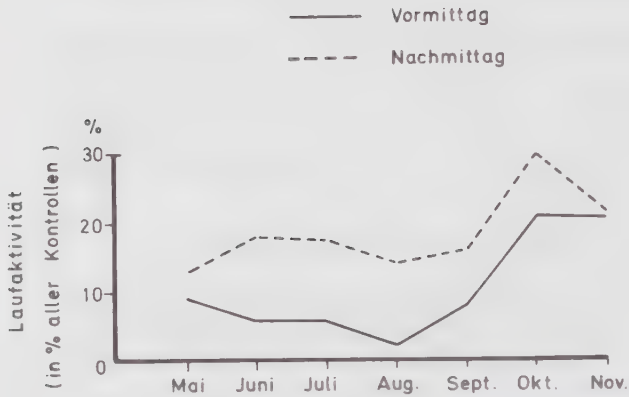


Abb. 7: Tagesperiodik der Laufaktivität von *S. flavescens*
(Durchschnitt von Weibchen und Männchen)

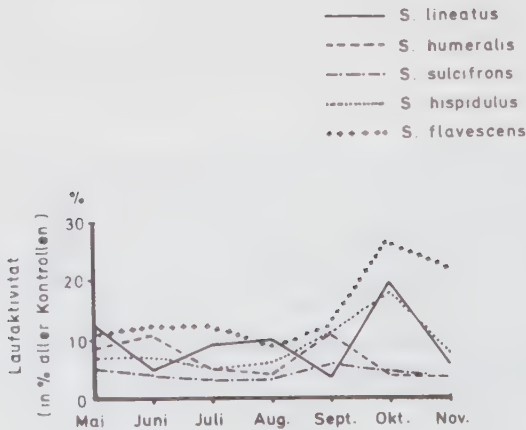


Abb. 8: Die Laufaktivität der *Sitona*-Arten im Jahresablauf
(Durchschnitt von Weibchen und Männchen)

Die bei S. flavescens beobachteten Unterschiede in der Aktivität während des Tages lassen sich kaum erklären, da noch zu wenig über Biologie und Verhalten dieser Art bekannt ist. Ob derartige Unterschiede auch im Freien auftreten, konnte nicht nachgewiesen werden, ist aber wahrscheinlich. Die unmittelbare Regulation erfolgte in den Versuchen nicht über Außenfaktoren, die weitgehend konstant gehalten wurden. Ihre tatsächliche Bedeutung könnte allerdings nur durch längere Versuche bei konstanten Bedingungen erfaßt werden.

Die Perioden verstärkter Aktivität im Frühjahr/Frühsummer und im Herbst fallen weitgehend mit den Zeiten zusammen, in denen die Wander- oder Ausbreitungsphasen der Arten liegen (vgl. Dickler 1968, Stein 1967 und im Druck). Neben der Laufaktivität spielt hier aber noch die im nächsten Abschnitt zu diskutierende Flugaktivität hinein.

4.2 Flugaktivität

Die Flugaktivität der Insekten-Arten ist sehr entscheidend für ihre Ausbreitung. Tiere mit großer Flugaktivität können sehr schnell ihren Lebensraum wechseln oder neue Gebiete besiedeln.

Die folgenden Untersuchungen hatten den Zweck, Unterschiede in der Flugaktivität und Flugbereitschaft der einzelnen Sitona-Arten aufzuzeigen und eine eventuell vorhandene Jahresrhythmik zu ermitteln. Weiterhin sollte geprüft werden, inwieweit die Flugaktivität durch Licht und Temperatur beeinflussbar ist.

Methode

In einem Rundkolben ($\varnothing$ 9 cm), der in einem beheizbaren Wasserbad stand, wurde die Temperatur sehr langsam bis etwa 40°C erhöht und dabei notiert, ob die im Kolben

befindlichen Käfer (je Versuch 2 Tiere einer Art) flogen. Die Lichtstärke (natürliche Belichtung) wurde außerhalb des Kolbens gemessen. Die Zahl der im Laufe eines Jahres untersuchten Käfer betrug etwa 180 je Art.

4.21 Flugbereitschaft der einzelnen Arten

Um eine allgemeine Charakterisierung der Flugbereitschaft der einzelnen Sitona-Arten zu erhalten, wurde zunächst berechnet, welcher Prozentsatz der gesamten getesteten Käfer geflogen war. Folgende Werte wurden dabei ermittelt:

Tabelle 3: Prozentsatz der geflogenen Käfer (Kolbenversuch)

<u>S. lineatus</u>	% 35,0
<u>S. humeralis</u>	19,5
<u>S. sulcifrons</u>	11,5
<u>S. flavescens</u>	16,5
<u>S. hispidulus</u>	6,0

Aus der Tabelle 3 geht hervor, daß S. lineatus die bei weitem stärkste Neigung zum Flug zeigt. Mit Abstand, aber deutlich aktiver als die übrigen Arten folgt S. humeralis. Der Kleewurzelrüßler S. hispidulus nimmt auch in diesen Versuchen eine Sonderstellung ein, da er nur eine geringe Flugneigung zeigt.

4.22 Jahresperiodik der Flugbereitschaft

Betrachtet man die Flugaktivität der Arten, wie sie sich aus den Kolbenversuchen ergibt, im Jahresablauf (s. Abb.9), so erkennt man, daß sich 2 Gruppen aufstellen lassen:

- a) Arten mit zwei Flugphasen im Jahr: S. lineatus,
S. humeralis und S. flavescens.

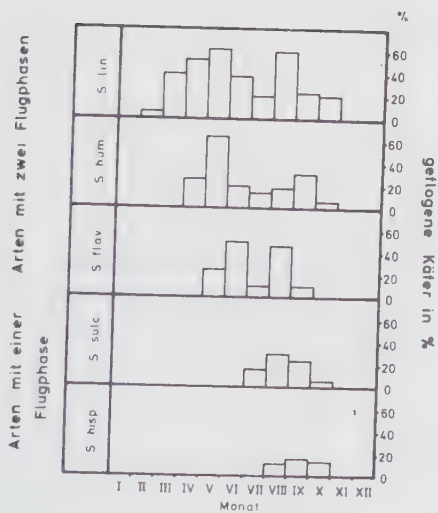


Abb. 9: Die Flugbereitschaft der Sitona-Arten in den verschiedenen Monaten

b) Arten mit einer Flugphase: S. sulcifrons und
S. hispidulus

Die längste Flugperiode besitzt S. lineatus. Im Gegensatz zu den anderen Species ist diese Art schon im Februar bei günstigen Bedingungen zum Flug bereit. Die größte Flugaktivität wurde in den Kolbenversuchen im Mai und August beobachtet, wobei die Zahl der geflogenen Käfer aber auch im April schon recht groß ist. Die alte Generation flog ab Mitte Juni nicht mehr. Der Flug der neuen Generation begann im Kolben ab Mitte Juli und wurde bis Ende Oktober fortgesetzt.

S. humeralis hatte in den Versuchen nach S. lineatus die längste Flugperiode. Der erste Flug der überwinterten Käfer konnte im April beobachtet werden, während die größte Flugaktivität dieser Art im Mai lag. Ab Mitte Juni wurde kein Flug bei der alten Generation festgestellt. Die neue Generation flog im Jahr des Schlüpfens von Ende Juli bis Mitte Oktober bei den günstigen Temperaturen des Kolbenversuches.

S. flavescens begann etwas später zu fliegen (Anfang Mai) und setzte den Flug bis September mit kurzfristiger Unterbrechung fort. Dabei waren die Altkäfer nur bis Mitte Juli flugaktiv, aber schon ab Anfang August flogen die frisch geschlüpften Käfer.

S. sulcifrons neigte unter den Versuchsbedingungen nur wenig zum Fliegen. Im Frühjahr konnte keine Flugphase festgestellt werden. Erst die neue Generation flog von Ende Juli bis Mitte Oktober, jedoch ist in dieser Zeit die Aktivität im Vergleich zu den drei vorgenannten Arten nicht besonders groß.

S. hispidulus war ein sehr schwacher Flieger und hatte nur eine etwa zweimonatige Flugperiode (von Ende August bis

etwa Ende Oktober). Die alten Käfer flogen nach der Überwinterung nicht mehr.

Ein Unterschied zwischen den Geschlechtern konnte bei keiner Art festgestellt werden.

4.23 Abhängigkeit des Fluges von abiotischen Faktoren

Die Laboratoriumsversuche zeigten, daß die Temperatur ein wichtiger flugauslösender Faktor ist. Die niedrigste Temperatur, bei der in den Kolbenversuchen Flug beobachtet wurde, war 18°C (bei S. lineatus).

In der folgenden Tabelle 4 ist angegeben, bei welchen Temperaturen die Käfer im Kolben flogen (Gesamtzahl = 100).

Tabelle 4: Die Abhängigkeit des Käferfluges in den Kolbenversuchen von der Temperatur (Angaben in %)

Arten	15-20°C	21-25°C	26-30°C	31-36°C
<i>S. lineatus</i>	3	18	56	23
<i>S. humeralis</i>	7	13	43	37
<i>S. sulcifrons</i>	5	5	58	32
<i>S. hispidulus</i>	10	10	60	20
<i>S. flavescens</i>	4	22	40	34

Die Tabelle 4 macht deutlich, daß die optimale Temperatur für alle untersuchten Sitona-Arten zwischen 26 und 30°C lag. Oberhalb und unterhalb dieses Bereiches wurde eine Abnahme der Flugaktivität festgestellt.

Der Einfluß des Lichtes auf die Flugaktivität scheint nach diesen Kolbenversuchen so lange nicht entscheidend zu sein, wie die Temperaturen oberhalb eines Schwellenwertes günstig sind, da die Käfer nach Freiland- und

Laboratoriumsbeobachtungen zwischen 30 und 76.000 Lux flogen. Andererseits wurde ermittelt, daß die meisten Flüge bei allen Arten unter optimalen Flugtemperaturen (26-30°C) bei höherer Lichtstärke (30.000-76.000 Lux) stattfanden.

Diskussion

Bei einem Vergleich der Untersuchungen mit Freilandbeobachtungen läßt sich sagen, daß eine große Ähnlichkeit zwischen dem Verhalten der Sitona-Arten im Laboratorium und Freiland besteht.

Alle Arten, die große Flugaktivität zeigten, besiedeln neu angelegte Kulturen ihrer Wirtspflanzen sehr schnell (Dickler 1968). Flugträge Arten, wie S. sulcifrons und S. hispidulus, verhalten sich auch hierbei sehr träge.

S. lineatus, der die größte Flugaktivität aufwies, ist eine echte Wanderart (Stein im Druck), deren Ortswechsel von den Winterquartieren zu Erbsen- oder Bohnenflächen größtenteils durch Flug stattfindet (Hans 1959).

Die im Laboratorium ermittelte zweiphasige Flugbereitschaft von S. lineatus, S. humeralis und S. flavescens wurde auch in Untersuchungen von Dickler (1968) im Freiland gefunden. Nach seinen Untersuchungen beginnt die zweite Phase wie in den Kolbenversuchen im Juli.

Die Altkäfer von S. humeralis besiedeln die Luzerneflächen schon im April durch den Flug. Aber die Haupt-einwanderung von der Wiese her setzt erst mit der neuen Generation im August ein (Dickler 1968).

Die Ausbreitung von S. flavescens durch Flug soll hauptsächlich im August geschehen, da diese Art nach Angabe von Schnell (1955) im Frühjahr zu Fuß neue Flächen besiedelt.

S. sulcifrons und S. hispidulus zeigten in den Kolbenversuchen im August und September ihre größte Flugaktivität, wobei auch ihre Ausbreitung hauptsächlich in dieser Zeit durch die neue Generation erfolgt (Stein 1967). Die Tatsache, daß S. hispidulus nur eine Flugphase im Jahr hat, wurde durch Freilanduntersuchungen von Prescott und Newton (1963) bestätigt. Die alten Käfer von S. hispidulus flogen nach Überwinterung nicht mehr. Zu den ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Autoren: (Bigger 1930, Marshall und Wilbur 1934 und Underhill et al. 1955).

Die Flugaktivität der Tiere wird durch Außenfaktoren ausgelöst, sofern eine Flugbereitschaft besteht, die durch innere Faktoren gesteuert wird. Diese Flugbereitschaft ist nicht immer vorhanden, was durch die ausgesprochene Jahresperiodik im Freiland und vor allem in den Kolbenversuchen zum Ausdruck kommt.

In verschiedenen Untersuchungen wurde bereits versucht, den Einfluß abiotischer Faktoren auf den Flug der Sitona-Arten zu ermitteln. Die Käfer können bei niedriger Temperatur nicht fliegen. In den Kolbenversuchen konnte der erste Flug bei 12°C beobachtet werden (S. lineatus). Den gleichen Wert geben Dickler (1968) und Hans (1959) für diese Art im Freiland an (bei 30.000 Lux). Die optimale Flugtemperatur lag in den vorliegenden Untersuchungen für alle Arten zwischen 26 und 30°C (s. Tabelle 4). Auch Prescott und Newton (1963) ermittelten die stärkste Flugaktivität von S. hispidulus bei 27°C.

Dem Licht kommt (wenigstens oberhalb eines - nicht ermittelten - Schwellenwertes) für die Flugaktivität nicht so große Bedeutung zu wie der Temperatur, denn die Käfer waren in der Lage, zwischen 30 und 76.000 Lux zu fliegen. Da 60 % aller Flüge im optimalen Temperaturbereich zwischen 30.000 und 76.000 Lux stattfanden, scheint aber

ein gewisser stimulierender Effekt vorhanden zu sein. Auch Hans (1961) stellte im Laboratorium fest, daß S. cylindricollis bei gleicher Temperatur (35°C) und höherer Lichtintensität größere Flugaktivität besitzt als bei niedriger Lichtstärke.

4.3 Fraßaktivität

In diesen Versuchen sollte festgestellt werden, ob die untersuchten Arten in der Fraßaktivität eine tages- und jahreszeitlich bedingte Periodik aufweisen und ob Unterschiede zwischen ihnen bestehen. Der allgemeine Nahrungsverbrauch wird in einem späteren Abschnitt (5.1) besonders verglichen.

Methode

Die Käfer wurden wie üblich unter Laboratoriumsbedingungen gehalten. Je zwei Tiere (Weibchen und Männchen getrennt) wurden in einer Glaspetrischale mit folgenden Wirtspflanzen gefüttert:

<u>S. lineatus</u>	Erbsen (im Winter Luzerne)
<u>S. humeralis</u>	Luzerne
<u>S. sulcifrons</u>	Rotklee
<u>S. hispidulus</u>	Rotklee
<u>S. flavescens</u>	Rotklee

Dreimal täglich (um 7 Uhr, 15 Uhr und 23 Uhr) wurden unter Benutzung von Millimeterpapier die in den vorangegangenen 8 Stunden gefressenen Blattpartien ausgemessen. Ein Versuch lief 72 Stunden.

Da in jedem Monat 5 Versuche durchgeführt wurden, liegen den nachfolgend dargestellten Ergebnissen die Resultate von je 10 Männchen und 10 Weibchen pro Monat zugrunde.

Ergebnisse

4.31 Fraßaktivität im Laufe des Tages

Die Ergebnisse der drei Kontrollen pro Tag werden in der folgenden Tabelle 5 zusammengestellt:

Tabelle 5: Die Tagesperiodik der Fraßaktivität der untersuchten Sitona-Arten.

Gefressene Blattfläche in mm²

Arten	23-7 Uhr		7-15 Uhr		15-23 Uhr	
	Männ.	Weib.	Männ.	Weib.	Männ.	Weib.
<u>S. lineatus</u>	7	10	5	6	7	9
<u>S. humeralis</u>	6	10	6	9	7	10
<u>S. sulcifrons</u>	6	9	4	6	5	7
<u>S. hispidulus</u>	5	6	4	4	4	5
<u>S. flavescens</u>	15	21	11	17	13	19

Es zeigt sich, daß S. lineatus, S. sulcifrons, S. flavescens und (weniger deutlich) S. hispidulus in beiden Geschlechtern während des ganzen Jahres in den Nachtstunden von 23 Uhr bis 7 Uhr am meisten fressen. In den Vormittagsstunden läßt dann die Nahrungsaufnahme nach und steigt in den Nachmittagsstunden wieder etwas.

S. humeralis zeigte in seiner Fraßaktivität während der verschiedenen Tageszeiten keine Unterschiede.

4.32 Fraßaktivität im Laufe des Jahres

Eine kontinuierliche Durchführung der Fraßversuche über das ganze Jahr hin erlaubt, die Fraßaktivität in den verschiedenen Monaten zu ermitteln. Die Ergebnisse, die in der Abb. 10 dargestellt sind, machen es deutlich, daß die Fraßaktivität nicht während des ganzen Jahres gleich hoch ist. Die Maxima liegen vor allem bei den Weibchen, in geringerem Maße aber auch bei den Männchen, in den

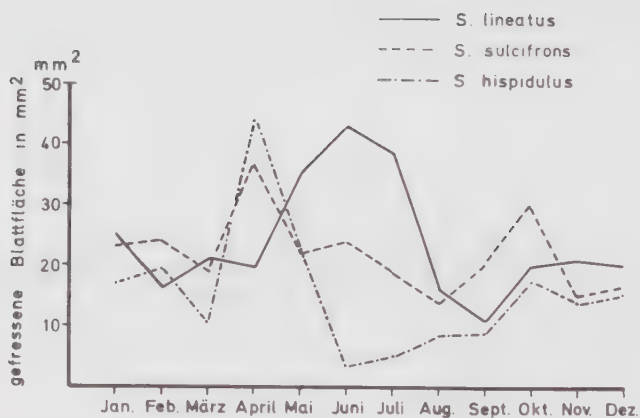


Abb. 10: Die Fraßaktivität von Sitona-Arten
(nur Weibchen) in den verschiedenen
Monaten

Zeiten der Eiablage. Dadurch ergibt sich für S. lineatus, einer Art, die nur eine Eiablageperiode im Jahr hat, eine Fraßkurve mit nur einem deutlichen Maximum, während die übrigen Arten, die im Frühling und Herbst Eier ablegen (s. Abschnitt Eiablageaktivität 4.4), zwei solche Maxima in den betreffenden Zeiten haben (s. Beispiel S. sulcifrons und S. hispidulus in Abb. 10).

S. hispidulus tritt im Sommer in eine allgemeine Ruhepause, in der auch, wie der Verlauf der Kurve erkennen läßt, die Fraßaktivität sehr stark reduziert ist.

Diskussion der Ergebnisse von Fraßaktivität

Beobachtungen haben gezeigt, daß Arten wie S. lineatus, S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens ähnlich wie andere Insekten, die einen Tagesrhythmus zeigen, in den Mittagsstunden auf den Pflanzen kaum zu finden sind. Marshall und Willbur (1934) schreiben, daß S. hispidulus bei Beginn der heißen Sommerzeit seine Aktivität an Luzerne in die Nacht- und Morgenstunden (bis 10 Uhr) verlegt. Calkins und Manglitz (1968) haben den gleichen Rhythmus bei S. cylindricollis festgestellt. Nach ihren Beobachtungen zeigt S. cylindricollis seine größte Fraßaktivität vom Frühjahr bis zum Herbst in den Nachtstunden. Georg und Gyrisco (1960) konnten bei einer Untersuchung mit Hypera postica die meisten Käfer in der Zeit zwischen 21 und 5 Uhr auf der Pflanze fangen. Es läßt sich vermuten, daß diese Art ihre höchste Fraßaktivität in dieser Zeitperiode besitzt.

Übereinstimmend mit diesen Freilandbefunde ergaben die vorliegenden Untersuchungen eine Abnahme der Fraßaktivität in der Zeit zwischen 7 und 15 Uhr.

Da die hier geschilderten Untersuchungen unter normalen Lichtverhältnissen im Laboratorium bei Zimmertemperatur

und annähernd konstanter Luftfeuchtigkeit durchgeführt wurden, könnte die Lichtschwankung im Laufe des Tages auf die Fraßaktivität einen Einfluß haben.

In den Nachtstunden zwischen 23 und 7 Uhr, also in der Periode mit der größten Zahl von Dunkelstunden, wurde die höchste Fraßaktivität beobachtet. In der Zeit von 15 bis 23 Uhr gibt es ebenfalls einige Dunkelstunden, die für den Wiederanstieg der Fraßaktivität verantwortlich gemacht werden könnten. Aus diesen Ergebnissen läßt sich allerdings nicht ermitteln, ob die Käfer wirklich in den dunklen Stunden oder vielleicht in den Dämmerungszeiten am meisten fressen. Gerade bei letzteren ist ja bei vielen Arten eine Aktivitätssteigerung bekannt geworden.

Bei der Jahresperiodik der Fraßaktivität konnten die Ergebnisse anderer Arbeiten bestätigt werden (z. B. Bigger 1930, Marshall und Wilbur 1934, Rautapää und Markkula 1966).

Die Tatsache, daß der Nahrungsverbrauch während der Eiablage zunimmt, ist leicht erklärlich und auf den hohen Energie- und Substanzverlust in dieser Zeit zurückzuführen. In diesem Zusammenhang ist die Feststellung von Rautapää und Markkula (1966) von Interesse, daß der Sauerstoffverbrauch während der Eiablage bei Sitona hispidulus um das Dreifache erhöht wird.

4.4 Eiablageaktivität

Die Form der Eiablage bei den Sitona-Arten - die Eier werden einfach ohne besondere Vorsorge abgelegt - erlaubt es, große Mengen von Eiern in Laboratoriumszuchten zu erhalten. Dadurch wiederum sind relativ leicht exakte vergleichende Untersuchungen möglich, mit denen Unterschiede zwischen den Arten aufgezeigt werden können.

Methode

Im März 1968 wurden von den im Laboratorium gehaltenen Käfern je Art 10 Weibchen und 10 Männchen paarweise zusammengesetzt. S. flavescens wurde in dieser Zeit einzeln aus dem Freiland gesammelt. Da S. lineatus erst im Mai mit der Eiablage beginnt, konnte diese Art Ende April direkt im Freiland gefangen werden. Die Käfer wurden jeden Tag frisch mit folgenden Pflanzen gefüttert:

<u>S. lineatus</u>	Erbsen
<u>S. humeralis</u>	Luzerne
<u>S. sulcifrons</u>	Rotklee
<u>S. hispidulus</u>	Rotklee
<u>S. flavescens</u>	Rotklee

Die Luftfeuchtigkeit in den Petrischalen schwankte zwischen 80 und 90 %. Die Versuche wurden bei Zimmertemperatur (etwa 20°C) durchgeführt. Die Auszählung der abgelegten Eier erfolgte täglich zweimal (7 und 19 Uhr).

4.41 Beginn und Dauer der Eiablage im Laufe des Jahres

Untersucht man die in den Laboratoriumszuchten gewonnenen Ergebnisse zunächst im Hinblick auf die Eiablageaktivität im Laufe des Jahres, so zeigt es sich, daß - wie die Darstellung in der Abb. 11 deutlich macht - nur S. lineatus eine einzige Eiablageperiode im Jahr besitzt, während die übrigen Arten zweimal (vor und nach der Überwinterung) Eier legen.

Während die Eiablage im Frühjahr bei allen Arten mit 2 Perioden etwa zum gleichen Zeitpunkt beginnt, obwohl die Vorbehandlung der Tiere nicht einheitlich gewesen war (s. Abschnitt Methode), bestehen hinsichtlich der Dauer der Eiablageperioden Unterschiede. Vor allem in der Frühjahrsperiode ist dies der Fall. Auch ist die Zeit der stärksten Eiablage verschieden.

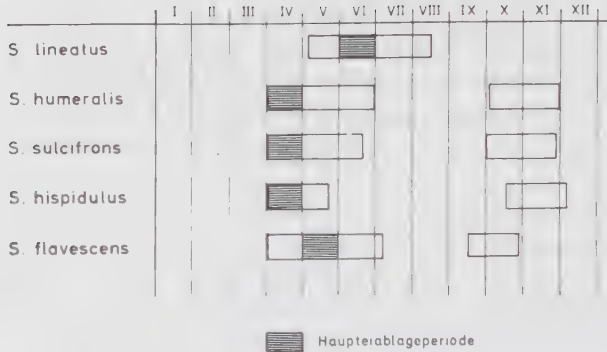


Abb. 11: Beginn und Dauer der Eiablage bei den untersuchten Sitona-Arten

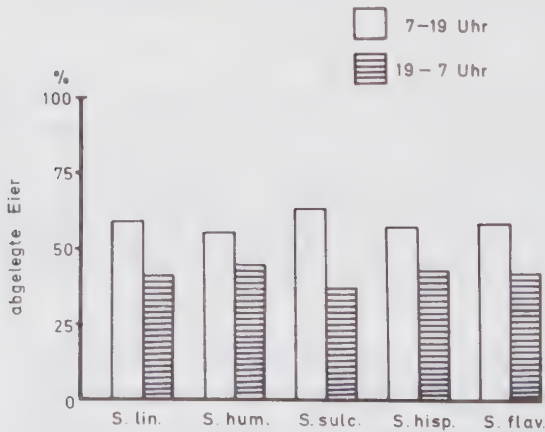


Abb. 12: Wie Tagesperiodik der Eiablage bei den Sitona-Arten. (Gesamtzahl der Eier = 100 gesetzt)

Beginn und Ende der Eiablage der neuen Generation im Herbst ist bei den einzelnen Arten unterschiedlich. S. humeralis und S. sulcifrons legen ihre Eier von Anfang Oktober bis Ende November. S. hispidulus von Mitte Oktober bis Ende November/Anfang Dezember. S. flavescens fängt ab Mitte September an Eier abzulegen. Diese Periode dauert dann bis Ende Oktober. Es liegt also zwischen den 2 Eiablageperioden bei dieser Art nur eine Pause von 10 Wochen.

4.42 Tagesperiodik der Eiablageaktivität

Wie bereits erwähnt, wurden die in den Petrischalen abgelegten Eier täglich zweimal (7 und 19 Uhr) gezählt, wodurch es möglich ist, gewisse Schlüsse über eine Tagesperiodik bei der Eiablage zu ziehen.

Aus den Ergebnissen läßt es sich allerdings nicht ermitteln, ob und wieviel Eier in den dunklen Stunden der Nacht abgelegt wurden, da auch in der Zeitspanne zwischen 19 und 7 Uhr einige helle Stunden vorkommen, und vor allem die Dämmerungszeiten oft entscheidenden Einfluß auf die biologischen Vorgänge haben.

Wie aus der Abb. 12 aber zu ersehen ist, werden von allen Arten übereinstimmend in der Zeit zwischen 7 und 19 Uhr, also in den hellen Stunden ohnehin mehr Eier abgelegt als in dem Zeitraum, der die Nacht einschließt.

Diskussion der Ergebnisse zur Eiablage

Die auch von Andersen (1931) und Jackson (1922) bereits angeführte Tatsache, daß S. lineatus nur eine Eiablageperiode im Frühjahr/Sommer besitzt, wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß diese Art in Mitteleuropa Wanderungen durchführt und im August schon die Sommerbiotope (Erbsen- oder Bohnenflächen) wieder verläßt, um die Winterquartiere aufzusuchen, in denen z. T. keine Wirtspflanzen vorkommen.

Unter günstigen klimatischen Bedingungen kann das Eiablageverhalten dieser Art anders sein, wie die Untersuchungen von Zangheri (1952) und Marteli (1964) in Italien gezeigt haben, wo die Art zweimal im Jahr Eier ablegt. Hier findet vermutlich kein Biotopwechsel statt oder dies ist so spät der Fall, daß sich eine zweite Generation entwickeln kann.

Die übrigen Arten, die nicht wie S. lineatus den Biotoptyp wechseln, haben zwei Eiablageperiode, die auch durch Angaben von Bigger (1930), Dickason et al. (1958), Herron (1953), Markkula (1959) und Marshall und Wilbur (1934) bestätigt werden.

Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen kommen auch in den für die Eiablage notwendigen Minimumtemperaturen zum Ausdruck: Wie Andersen (1931) und Jackson (1922) schreiben, beginnt S. lineatus mit der Eiablage, sobald die Tagesmitteltemperatur $+13^{\circ}\text{C}$ übersteigt. Die benötigte Tagesmitteltemperatur für die Eiablage von S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens liegt dagegen nach Markkula und Roiivainen (1961) wesentlich niedriger, nämlich bei $7-8^{\circ}\text{C}$.

Die prozentuale Verteilung der Eimenge auf die untersuchten Tagesperioden war bei allen geprüften Arten gleich: der Anteil der Eier, die in der Zeit zwischen 19 und 7 Uhr abgelegt wurden, betrug im Durchschnitt etwa 45 %.

Da die Temperatur- und Luftfeuchtigkeit im Laboratorium weitgehend konstant waren, könnte das Licht die Eiablage beeinflußt haben. Zu dieser Frage wurden allerdings keine weiteren Versuche durchgeführt.

5. Der Nahrungsbedarf der Imagines und seine Abhängigkeit von verschiedenen abiotischen Faktoren

5.1 Nahrungsbedarf

Diese Versuche hatten den Zweck zu prüfen, ob zwischen einzelnen Arten Unterschiede in der Gesamtmenge des Nahrungsbedarfes bestehen und wie abiotische Außenfaktoren auf diesen Bedarf einwirken.

Methode

Nach der üblichen Methode wurden je Art 10 Weibchen und 10 Männchen einzeln in Petrischalen mit ihren Wirtspflanzen gefüttert. Die Fraßmenge wurde täglich über den Zeitraum eines ganzen Jahres ermittelt und für die unten angeführten Ergebnisse zur Berechnung des gesamten Nahrungsverbrauches eines Tieres zusammengefaßt. Ein direkter Vergleich der Arten untereinander ist allerdings nur bedingt möglich, da verschiedene Futterpflanzen geboten werden mußten; doch sind auch bei den mit gleichen Pflanzen gefütterten Arten so erhebliche und konstante Unterschiede festzustellen, daß ein solcher Vergleich aller Arten durchaus statthaft erscheint.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der Abb. 13 eingetragen. Es ist zunächst einmal zu ersehen, daß zwischen den Arten beträchtliche Unterschiede vorhanden sind, vor allem zwischen S. flavescens und S. hispidulus; beide Arten wurden mit Rotklee gefüttert, aber die zuerst genannte Art hat den bei weitem größten Nahrungsverbrauch aller untersuchten Arten, während S. hispidulus den geringsten aufweist. Das Verhältnis des Nahrungsverbrauchs von S. flavescens zu S. hispidulus beträgt etwa 3,5:1.

Die übrigen Arten unterscheiden sich in ihrem Bedarf nicht wesentlich, fressen alle aber insgesamt doch etwas mehr

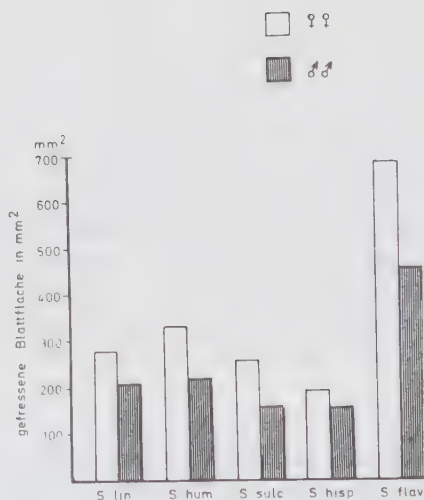


Abb. 13: Nahrungsbedarf der einzelnen Sitona-Arten. Angegeben ist die Summe aus den 12 Versuchen der einzelnen Monate im Durchschnitt für je 1 Käfer.

als S. hispidulus und viel weniger als S. flavescens.

Weiterhin geht aus der Abbildung hervor, daß die Weibchen aller Arten durchweg mehr Nahrung im Laufe eines Jahres zu sich nehmen als die Männchen.

Diskussion der Versuche über den Nahrungsverbrauch

Der unterschiedliche Nahrungsbedarf der einzelnen Arten könnte folgende Gründe haben:

a) Der Nahrungsverbrauch hängt von der Gesamtaktivität (Eiablage-, Lauf- und Flugaktivität) ab und ist somit bei sehr aktiven Arten höher als bei trägen.

S. hispidulus, ist in seiner Gesamtaktivität, wie die bereits genannten Versuche gezeigt haben, allen anderen Arten unterlegen, was seinen Ausdruck in dem geringen Nahrungsbedarf findet. S. flavescens zeigt die größte Laufaktivität (vgl. Abschnitt 4.11), wodurch diese Art einen großen Energieverlust hinnehmen muß. Die verlorene Energie muß durch Nahrungsaufnahme ersetzt werden.

Auch der größere Nahrungsbedarf der Weibchen ist mit dem hohen Energieverbrauch bei der Eiproduktion zu erklären.

S. hispidulus weist bei weitem die geringste Eiablageaktivität innerhalb der untersuchten Arten auf.

b) Der Nahrungsverbrauch steht mit der Körpergröße in Zusammenhang: je größer der Käfer ist, um so größer ist der Energiebedarf. Die Körpergrößen der untersuchten Arten betragen nach Jackson (1921a) S. lineatus 4-5 mm, S. humeralis 4-5 mm, S. sulcifrons 2,5-3 mm, S. hispidulus 3,3-4,7 mm und S. flavescens 4-5,5 mm. Auch dies dürfte ein Grund sein, warum S. flavescens, die größte aller hier untersuchten Sitona-Arten, mehr als die anderen frisst. Da die Weibchen fast stets größer sind als die Männchen, trägt auch dieser Umstand zum höheren Nahrungsbedarf der ersteren bei.

c) Manche Arten legen mehr oder weniger lange Fraßpausen im Jahr ein oder haben Zeiten stark vermindelter Nahrungsaufnahme, wodurch der Gesamtverbrauch an Nahrung im Jahr reduziert wird. Eine solche Unterbrechung der Nahrungsaufnahme wird z. B. von S. hispidulus während der Sommermonate eingelegt (vgl. Abb. 10).

5.2 Der Einfluß der Temperatur auf die Fraßstärke

In diesem Versuch sollte geklärt werden, ob die Fraßaktivität der einzelnen Arten bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich ist.

Methode

In einem Brückenthermostat wurde der Nahrungsbedarf von je einem Weibchen und Männchen jeder Art in Petrischalen nach der im Abschnitt 4.2 beschriebenen Methode ermittelt. Diese Versuche wurden mit 4-5 Wiederholungen pro Monat über das ganze Jahr hin fortgesetzt. Die Käfer blieben 72 Stunden im Versuch, wobei alle 24 Stunden frisches Futter geboten wurde. Die Temperaturwerte in den einzelnen Kammern betrugen 8-12-18-22-28-32°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Der Nahrungsbedarf der Sitona-Arten in Abhängigkeit von der Temperatur. (Angabe ist der Verbrauch an mm² Blattfläche eines Käfers in 72 Stunden).

Temperaturen °C	S. lineatus		S. humeralis		S. sulcifrons		S. hispidulus		S. flavescens	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	2,0	1,0
7,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	3,0	11,0	6,0
15,0	11,0	11,0	16,0	8,0	10,0	7,0	8,0	5,0	28,0	16,0
23,0	16,0	17,0	17,0	12,0	15,0	8,0	9,0	8,0	56,0	25,0
33,0	21,0	24,0	24,0	18,0	16,0	11,0	16,0	10,0	67,0	36,0
29,0	10,0	21,0	15,0	13,0	10,0	12,0	10,0	54,0	36,0	

Aus der Tabelle 6 geht hervor, daß die Nahrungsaufnahme bei allen untersuchten Arten mit steigender Temperatur bis zu einem gewissen Grad zunimmt. Bei 32°C ist dagegen fast immer eine Abnahme der Fraßmenge festzustellen.

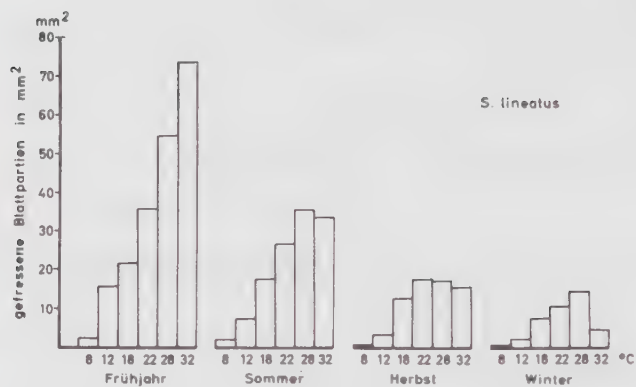
Auch in diesem Versuch konnte festgestellt werden, daß die Männchen bei allen Temperaturen eindeutig weniger als die Weibchen fraßen und daß S. flavescens (in allen Temperaturstufen) den größten Nahrungsverbrauch hat.

5.3 Einfluß der Temperatur auf die Nahrungsaufnahme in verschiedenen Jahreszeiten

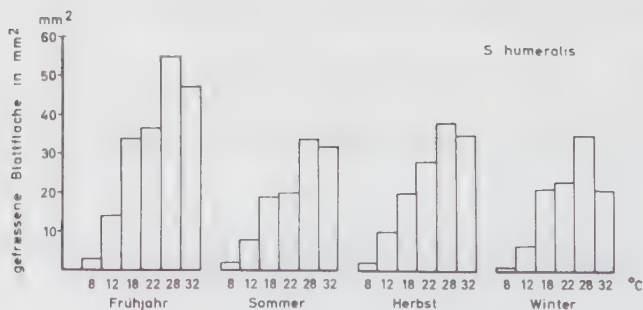
Die Untersuchungen ergaben, daß der Einfluß der Temperatur auf die Fraßtätigkeit nicht in allen Jahreszeiten gleich ist, daß aber die getesteten Arten auch hierbei unterschiedlich reagierten. So zeigt Abb. 14a, daß S. lineatus in den Frühjahrsmonaten bei 32°C am meisten frißt, während das Maximum in den Wintermonaten bei 28°C liegt. In den Herbst- und weitgehend auch in den Sommermonaten ist die Nahrungsaufnahme bei Temperaturen von 22 bis 32°C annähernd gleich.

S. humeralis, S. sulcifrons und S. hispidulus fraßen in allen Jahreszeiten bei 28°C am meisten. Als Beispiel für diese Gruppe wurde die Futteraufnahme von S. humeralis in Abb. 14b dargestellt.

Die Nahrungsaufnahme von S. flavescens ist im Frühjahr bei 28°C am größten. In den Sommer- und Herbstmonaten gibt es dagegen keinen deutlichen Unterschied zwischen 28 und 32°C. Da diese Art in den Wintermonaten nicht in ausreichender Zahl zur Verfügung stand, konnten in dieser Zeit keine Versuche durchgeführt werden.



a



b

Abb. 14: Der Einfluß der Temperatur auf die Fraßaktivität im Laufe eines Jahres

Diskussion

Wie die Untersuchungen zeigten, ist die Fraßaktivität bis zu einer gewissen Grenze temperaturabhängig: je niedriger die Temperatur, um so geringer ist die gefressene Blattmenge.

Der Grund für die große Nahrungsaufnahme bei höheren Temperaturen dürfte neben eines allgemein höheren Energieverlustes durch Aktivitätssteigerung auch darauf zurückzuführen sein, daß die Wasserabgabe der Käfer (Transpiration) steigt und daß der Wasserverlust durch Nahrungsaufnahme ersetzt wird. So berichtet Andersen (1933), daß der Wassergehalt von S. lineatus durch Futter beeinflusst wird und daß die Fraßmenge um so größer wird, je trockener die Luft ist.

Die Versuche haben aber ferner gezeigt, daß Sitona-Arten auch bei relativ niedrigen Temperaturen noch Nahrung aufnehmen (8-12°C). Vermutlich liegt diese Temperatur sogar noch niedriger, da Winteraktivität von Blattrandkäfern wiederholt beobachtet worden ist (Heydemann 1953, Ziemann 1959). Der letzte Autor weist darauf hin, daß S. humeralis im Winter im Freiland fraßaktiv wird, sobald die Temperatur einige Zeit +10°C erreicht.

5.4 Einfluß der Lichtstärke auf die Fraßstärke

In den im Abschnitt 4,31 geschilderten Versuchen wurde festgestellt, daß die meisten Sitona-Arten in den Nachtstunden (23-7 Uhr) die größte Fraßaktivität haben. Es wurde deshalb vermutet, daß das Licht einen Einfluß auf die Fraßstärke haben könnte. In einem weiteren Versuch sollte deshalb ermittelt werden, in wie weit unterschiedliche Lichtstärken einen Einfluß auf die Futteraufnahme der Käfer haben.

Methode

Je zwei Weibchen bzw. Männchen einer Art wurden in Glaspetrischalen bei Fütterung mit den entsprechenden Wirtspflanzen gehalten. Die Beleuchtung während der ganzen Dauer des Versuches erfolgte mit einer ringförmigen Leuchtstoffröhre (Philips TL 40 W/33). Um die gewünschte Abstufung der Lichtstärke zu erreichen, wurden die Schalen mit verschiedenen Lagen von Transparentpapier allseitig abgedeckt. Dadurch konnten folgende Lichtstufen erzielt werden: 0-500 - 1.000 - 2.500 Lux.

Von Mai bis Oktober wurden monatlich von jeder Art 6 Weibchen und 6 Männchen untersucht. Jeder Versuch lief 72 Stunden bei einer Durchschnittstemperatur von 20°C. Gemessen wurde wieder die während der Versuchsdauer gefressene Blattfläche.

Ergebnisse

Wie aus der Tabelle 7 entnommen wird, war unter den Versuchsbedingungen bei keiner Art eine eindeutige Korrelation zwischen dem Luxwert und der Fraßmenge feststellbar.

Tabelle 7: Die Fraßmenge der untersuchten Arten bei verschiedenen Lichtstärken. (Angabe ist die Summe in mm² für einen Käfer aus 6 Versuchen)

Lux	S.lineatus		S.humeralis		S.sulcifrons		S.hispidulus		S.flavescens	
	Weib.	Männ.	Weib.	Männ.	Weib.	Männ.	Weib.	Männ.	Weib.	Männ.
0	102	81	111	60	78	66	48	45	239	174
500	105	66	87	78	96	65	40	51	216	147
1000	108	66	102	81	81	66	39	48	231	180
2500	96	60	99	78	81	58	39	39	229	162

Es fällt allerdings auf, daß die (wenn auch meist nicht sehr deutlichen) Maxima nie im hellsten Bereich liegen. Dies läßt vermuten, daß bei höheren Lichtwerten, die im Versuch nicht geprüft wurden, bei den oben geschilderten

24-Stundenversuchen während der Tagesstunden aber auftraten, doch eine gewisse Hemmung der Fraßaktivität vorlag. Hier müssen weitere Versuche mit höheren Lichtstärken durchgeführt werden.

Die Versuche bestätigen darüber hinaus die bereits erwähnten Ergebnisse, daß S. flavescens von allen Sitona-Arten den höchsten Nahrungsverbrauch hat und S. hispidulus den geringsten. Ferner fressen auch in diesem Versuch die Weibchen allgemein mehr als die Männchen, wobei sich die geringsten Unterschiede bei S. hispidulus zeigten.

6. Untersuchungen über Eizahl, Eientwicklung und Schlüpfrate

Die in diesem Abschnitt geschilderten Versuche hatten den Zweck, eventuelle Unterschiede zwischen den Arten hinsichtlich der Fruchtbarkeit, der Eientwicklungsdauer und der Empfindlichkeit des Eistadiums gegenüber verschiedenen abiotischen Faktoren aufzuzeigen. Derartige Untersuchungen liefern einen wichtigen Anhaltspunkt für die Beurteilung der biologischen Leistungsfähigkeit einer Art, wobei aber eine endgültige Aussage hierüber nur dann möglich ist, wenn der gesamte Entwicklungszeitraum, und damit auch die Mortalität während der ganzen Larven- und Puppenzeit, berücksichtigt wird. Hierfür ergaben sich in den durchgeführten Untersuchungen aber nur einige Anhaltspunkte, so daß eine abschließende Beurteilung noch nicht möglich ist.

6.1 Anzahl der abgelegten Eier

Da die Anzahl der im Herbst abgelegten Eier relativ gering ist (Hansen 1957, Underhill et al. 1955) und vorliegende Beobachtung, wurde für den Vergleich der Eizahlen nur die Haupteiablageperiode im Frühjahr/Sommer ausgewertet.

Von jeder Art wurden 10 Pärchen getrennt in Petrischalen gehalten und die Zahl der abgelegten Eier täglich ermittelt.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 8 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß nicht nur die Arten untereinander erhebliche Unterschiede aufweisen, sondern daß auch bei den Weibchen einer Art große Differenzen in der Zahl der abgelegten Eier auftreten.

Tabelle 8: Zahl der von den einzelnen untersuchten Sitona-Arten in der Frühjahrsperiode abgelegten Eier

Arten	Maximum	Minimum	Durchschnitt
<u>S. lineatus</u>	2293	163	1324
<u>S. humeralis</u>	1008	50	439
<u>S. sulcifrons</u>	390	21	144
<u>S. hispidulus</u>	157	19	85
<u>S. flavescens</u>	1007	133	487

S. lineatus legt bei weitem die meisten Eier ab. Während S. humeralis und S. flavescens etwa eine gleiche Eizahl aufweisen, unterscheidet sich S. hispidulus auch in diesem Versuch in starkem Maße von den übrigen Arten durch seine außerordentlich geringe Eizahl. Auffallend wenige Eier legte auch S. sulcifrons.

6.2 Entwicklung

Methode

Frisch abgelegte Eier wurden in kleinen Plastikdosen ($\varnothing$ 3 cm) auf Filterpapier gelegt. Diese Dosen standen wiederum in Neubauerschalen, die am Boden Wasser oder bestimmte Salzbreie enthielten, wodurch während des ganzen Versuches konstante Luftfeuchtheitswerte erreicht wurden. Der Einfluß folgender Feuchtheitsstufen wurde untersucht:

100 %	(H ₂ O)
90 %	(K ₂ SO ₄)
75 %	(NaCl)
55 %	(Ca (NO ₃) ₂)
40 %	(CaCl ₂)

Die Schalen wurden im Thermostat bei 8 - 12 - 18 - 22 - 28 bzw. 32°C gehalten. Alle Versuche wurden nach 8 Wochen abgeschlossen. Insgesamt konnten von jeder Art in jedem einzelnen Versuch 300 Eier untersucht werden.

6.21 Entwicklungsdauer unter optimalen Bedingungen

Für einen allgemeinen Vergleich der Sitona-Arten sollen zunächst einmal die Entwicklungszeiten im optimalen Bereich von 22°C und 90 % rF. herausgestellt werden. Die Ergebnisse in der Tabelle 9 zeigen, daß keine allzu großen Unterschiede bestehen. S. lineatus hat die kürzeste Entwicklungszeit, dagegen brauchen S. sulcifrons und S. hispidulus für ihre Entwicklung etwa 2 Tage mehr.

Tabelle 9: Die Entwicklungsdauer der Eier von untersuchten Arten bei 22°C und 90 % rF. in Tagen

Arten	Entwicklungsdauer in Tagen
<u>S. lineatus</u>	9,8
<u>S. humeralis</u>	11,3
<u>S. sulcifrons</u>	12,0
<u>S. hispidulus</u>	11,8
<u>S. flavescens</u>	11,2

6.22 Einfluß der Temperatur auf die Entwicklungsdauer

In dieser Versuchsreihe sollte ermittelt werden, ob die Entwicklungsdauer der einzelnen Sitona-Arten durch hohe und niedrige Temperatur unterschiedlich beeinflusst wird. Die gewonnenen Zahlen sind in der Tabelle 10 angegeben.

Bei der allgemeinen Zunahme der Entwicklungsdauer bei sinkenden Temperaturen ist vor allem interessant, daß bei 12°C immerhin Unterschiede von fast 4 Tagen zwischen den Arten mit schnellster Entwicklung und S. humeralis, der Art mit langsamster Entwicklung, auftraten.

Tabelle 10: Die Entwicklungsdauer der untersuchten Sitona-Arten bei verschiedenen Temperaturen (Angaben in Tagen. Relative Luftfeuchtigkeit 90 %)

Arten	Versuchstemperatur				
	12	18	22	28	32°C
<u>S. lineatus</u>	28,0	15,2	9,8	7,8	9,0
<u>S. humeralis</u>	31,8	15,4	11,3	8,3	9,5
<u>S. sulcifrons</u>	30,4	15,0	12,0	8,7	9,8
<u>S. hispidulus</u>	28,0	14,5	11,8	8,2	8,8
<u>S. flavescens</u>	28,5	14,5	11,2	8,3	9,0

Bei 8°C schlüpften bei allen Arten keine Silarven mehr, obwohl fast alle Eier bei dieser Temperatur schwarz geworden waren und die Eier 8 Wochen beobachtet wurden. (Die Schwarzfärbung bedeutet nach Andersen (1931) und Scherf (1960), daß die Eier befruchtet und entwicklungs-fähig sind.) Es muß allerdings offen bleiben, ob diese Eier bei einer wesentlich längeren Versuchsdauer nicht doch noch bei der niedrigen Temperatur zum Schlüpfen kommen würden.

Bei 32°C ist die Entwicklung bei allen Arten gegenüber 28°C wieder verzögert. Oberhalb dieser Temperatur wurden keine Untersuchungen durchgeführt, so daß über die obere Entwicklungsgrenze nichts gesagt werden kann.

6.23 Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklungsdauer

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit ist in den Bereichen, in denen überhaupt eine Entwicklung der Eier möglich ist (s. nächsten Abschnitt), nur gering und nicht einheitlich. Die in der Tabelle 11 wiedergegebenen Resultate lassen erkennen, daß gegenüber der optimalen Luftfeuchtigkeit von 90 % bei höheren oder tieferen Werten Verzögerungen oder Beschleunigungen ohne erkennbare Tendenz auftreten können. Die für 22°C angeführten Ergebnisse gelten sinngemäß auch für die anderen getesteten Temperaturen.

Tabelle 11: Die Entwicklungsdauer bei 22°C und verschiedenen Luftfeuchtigkeiten in Tagen

Arten	75 %	90 %	100 % rF
<i>S. lineatus</i>	10,7	9,8	12,4
<i>S. humeralis</i>	11,0	11,3	11,8
<i>S. sulcifrons</i>	11,0	12,0	11,2
<i>S. hispidulus</i>	10,8	11,8	11,0
<i>S. flavescens</i>	11,0	11,2	9,8

6.3 Der Einfluß von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Schlüpfrate

In diesem Versuch sollte ermittelt werden, wieweit Temperatur und Luftfeuchtigkeit die Schlüpfrate der Eilarven der einzelnen Arten beeinflussen. Frisch abgelegte Eier wurden nach der im Abschnitt 6.2 beschriebenen Methode bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten gehalten. Die geschlüpften Eilarven wurden täglich gezählt.

Zunächst ergibt sich aus der Abb. 15, daß unterhalb einer Luftfeuchtigkeit von 75 % - bei höheren Temperaturen sogar

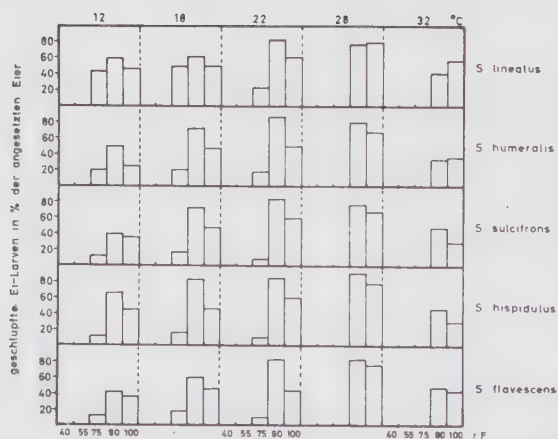


Abb. 15: Die Schlupfrate der Ei-Larven von Sitona-Arten bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten (in % der angesetzten Eier)

auch schon bei diesem Wert - keine Eilarven mehr zum Schlüpfen kommen. Waren die Feuchtigkeitswerte günstig (90 und 100 %), so ist die Schlüpftrate in einem Temperaturbereich von 22-28°C im allgemeinen am höchsten und sinkt bei höheren und tieferen Temperaturen, von Art zu Art teilweise unterschiedlich, mehr oder weniger stark ab.

Eine kurze Charakterisierung der Arten soll in der nachfolgenden Übersicht gegeben werden.

Arten	Optimum der Eient- wicklung	allgemeine Charakteri- sierung
<u>S. lineatus</u>	22°C+90 % rF	Bei höherer Temperatur (28 und 32°C) ist die Schlüpftrate bei 100 %iger rF am größten. Auch bei tieferen Temperaturen und niedrigeren rF-Werten ist die Schlüpftrate noch relativ hoch.
<u>S. humeralis</u>	22°C+90 % rF	Bei höherer Temperatur (32°C) schlüpften bei 100 % rF etwas mehr Eilarven als bei 90 %. In diesem Bereich ist die Schlüpftrate niedriger als bei <u>S. lineatus</u> . Bei tieferen Temperaturen ist im Bereich niedriger rF-Werte die Schlüpftrate deutlich geringer als bei <u>S. lineatus</u> .
<u>S. sulcifrons</u>	22°C+90 % rF	Bei allen Temperaturen ist die höchste Schlüpftrate bei 90 %iger rF festzustellen. Bei niedrigerer rF ist sie nur sehr gering.

- S.hispidulus 28°C+90 % rF Diese Art verhält sich ähnlich wie S. sulcifrons. Bemerkenswert ist, daß die Schlüpfrate allgemein auch bei tieferen Temperaturen sehr hoch liegt.
- S.flavescens 22+28°C+90 % rF Abgesehen davon, daß der Prozentsatz schlüpfender Eilarven bei 22°C bzw. 28°C und 90 %iger rF. gleich optimal ist, stimmen die Ergebnisse mit denen von S. sulcifrons weitgehend überein.

Diskussion der Versuche über Eizahl, Eientwicklung und Schlüpfrate

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß die Eizahlen der einzelnen Arten große Unterschiede aufweisen. Soweit Angaben in der Literatur bereits vorliegen, werden sie durch die dargestellten Ergebnisse weitgehend bestätigt. So legt S. lineatus nach Andersen (1934b) im Durchschnitt 1570, nach Melamed-Madjar (1966) 1113 und nach Markkula (1959) 1341 Eier. Nach Norman und Robert (1959) beträgt die Eizahl von S. hispidulus 271 und von S. flavescens 396 im Jahr. In den vorliegenden Untersuchungen wurde allerdings der vorletzte Wert nicht erreicht, auch wenn man berücksichtigt, daß nur die Frühjahrseiablage erfaßt wurde. Nach Underhill et al. (1955) werden aber nur 25 % der Eier von S. hispidulus im Herbst abgelegt, so daß auch bei Hinzurechnen dieses Prozentsatzes die Gesamtzahl für diese Art nur auf wenig über 100 kommt.

Bei den Untersuchungen zur Entwicklung der einzelnen Arten konnten zwischen ihnen keine grundsätzlichen Unter-

schiede ermittelt werden. Die gefundenen Entwicklungszeiten stimmten mit vielen anderen Angaben weitgehend überein. Z. B. haben Lehmann und Klinkowski (1942) die kürzeste embryonale Entwicklungsdauer von S. lineatus bei 100 %iger Luftfeuchtigkeit und 27°C mit etwa 7 Tagen angegeben. Nach Beobachtung von Herron (1953) schlüpften die Eilarven von S. hispidulus bei 27°C nach etwa 7 Tagen, bei 19°C nach 8-10 Tagen, bei 12,5°C nach 30 Tagen.

Eine eindeutige Beeinflussung der Entwicklungsdauer durch Luftfeuchtigkeit zeigte sich in den Versuchen nicht.

Bei den Untersuchungen zur Entwicklung der Eier konnte festgestellt werden, daß bei einer Steigerung der Temperatur die relative Luftfeuchtigkeit ebenfalls erhöht werden muß, um die Embryonalentwicklung abzuschließen. So trockneten z. B. bei 75 %iger relativer Luftfeuchtigkeit und 28°C die Eier aller Arten aus, während bei 12, 18 und 22°C ein Teil der Eilarven schlüpfen konnten. Fast bei allen Temperaturen war die Schlüpftrate bei 90 %iger rF am größten. Auch Melamed-Madjar (1966) konnte in ihren Versuchen mit S. lineatus und S. hispidulus die gleichen Ergebnisse erzielen.

Lehmann und Klinkowski (1942) schreiben, daß die Eier von S. lineatus unter 8°C und über 35°C absterben, dagegen führt Andersen (1934a) an, daß die Eier von S. lineatus bei 7°C nach 4 Wochen schlüpften. Die Ergebnisse von Lehmann und Klinkowski stehen den vorliegenden Resultaten nahe, da auch hier kein Ei bei 8°C während der 8wöchigen Versuchsdauer schlüpfte.

Die embryonale Entwicklung bleibt bei niedrigen Temperaturen stehen, aber die Entwicklungsfähigkeit wird selbst bei noch tieferer Temperatur als 8°C nicht völlig aufgehoben. In einem anderen Versuch konnte festgestellt wer-

den, daß Eier der untersuchten Arten, die einige Wochen bei 0°C gestanden hatten, nach Überführung in 22°C innerhalb von zwei Wochen größtenteils schlüpften. Andersen (1934a) hat ebenfalls die Eier von S. lineatus einige Zeit bei 0°C gehalten und dann bei 36°C gleiche Ergebnisse bekommen.

7. Die Formen der Überwinterung bei den behandelten Sitona-Arten

Da die Angaben in der Literatur über die Form der Überwinterung der untersuchten Arten teilweise erheblich auseinandergehen (vgl. Literatur in der Diskussion dieses Abschnittes), sollte in einer weiteren Versuchsreihe eine Klärung dieser Frage angestrebt werden. Hierfür war es allerdings nur nötig, jene 4 Arten heranzuziehen, die (unter mitteleuropäischen Verhältnissen) im Herbst noch eine Eiablageperiode besitzen, da die 5. Art, S. lineatus, bei Eiablage im Frühjahr und einer Generation im Jahr, als Imago überwintert.

Eine parallele Durchführung der Überwinterungsversuche im Freiland und im geheizten Gewächshaus gibt daneben noch Auskunft, ob die Überwinterung in Form einer echten Diapause erfolgt oder die Entwicklungsruhe nur durch niedrige Temperaturen bedingt ist.

Methode

Für die Untersuchungen wurden je Art 60 Blumentöpfe (Ø 17 cm) mit Rotklee bepflanzt und je 30 Töpfe davon im Gewächshaus bzw. im Freiland aufgestellt. Letztere waren bis zum Rand in die Erde eingegraben. Zwischen Mitte September und Ende November wurde jeder Topf in der Wurzelzone der Pflanze mit 50 Eiern einer entsprechenden Sitona-Art infiziert.

Die ersten Kontrollen der beiden Gruppen erfolgten 8 Wochen nach Ansatz, worauf alle 10 Tage jeweils 3 Töpfe pro Art und Gruppe auf Larven untersucht wurden.

Infolge Fehlens von Eiern konnte S. humeralis nicht mit untersucht werden.

Die Temperatur im Gewächshaus betrug im Durchschnitt 15°C . Die tiefsten Temperaturen im Freiland wurden im Dezember mit -10°C und im Februar mit -17°C gemessen. Außerhalb dieser beiden Frostperioden war die Witterung relativ mild. (Gemessen wurden jeweils Lufttemperaturen.)

Ergebnisse

Da bei den ersten Untersuchungen (zwischen Mitte November und Mitte Dezember) von keiner Art im Freiland Larven zu finden waren, wurde die weitere Untersuchung dieser Töpfe erst im Frühjahr fortgesetzt, da nicht anzunehmen war, daß eine Weiterentwicklung während des Winters erfolgte. Dagegen konnten die Gewächshausversuche planmäßig weiter verfolgt werden, weil günstige Temperaturbedingungen für die Weiterentwicklung vorlagen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 12 zusammengestellt.

Tabelle 12: Das Vorkommen von Larven der verschiedenen Sitona-Arten bei Überwinterung im beheizten Gewächshaus. (Angaben in % der zugegebenen Eier)

Arten	November	Dezember	Januar	Februar	März
S.flavescens	38,0	36,0	47,6	30,6	22,0
S.sulcifrons	-	-	8,8	12,3	-
S.hispidulus	-	-	5,0	14,0	3,0

Wie die Tabelle 12 deutlich macht, ist die Schlüpftrate bei S. flavescens im Vergleich zu den anderen Arten sehr groß. Während bei dieser Art praktisch in allen Töpfen

Larven gefunden wurden, traten bei S. sulcifrons und S. hispidulus in vielen Töpfen keine Larven auf. Es konnte allerdings hier nicht geklärt werden, ob in ihnen Larven geschlüpft und dann gestorben waren oder ob die Eier überwintert hatten und bei der Kontrolle nicht gefunden worden waren.

Die Larven von S. sulcifrons und S. hispidulus entwickelten sich teilweise bis zur Puppe (schon im Januar wurden Puppen gefunden), aus denen im Laboratorium ohne Verzögerung Imagines schlüpften. Dagegen konnten keine Puppen von S. flavescens beobachtet werden, obwohl die Untersuchungen bis März andauerten und bereits bei der ersten Kontrolle (8 Wochen nach dem Ansatz) erwachsene Larven vorlagen.

Die im Freiland gehaltenen Töpfe wurden im Frühjahr (vom 10. April ab) im Abstand von 8-14 Tagen auf das Vorhandensein von Larven untersucht (je Termin 3 Töpfe). Bis Mitte Mai konnten keine Larven festgestellt werden. Erst am letzten Termin (2. Juni) wurden in den Varianten mit S. flavescens im Durchschnitt 17 Larven (34 %) pro Topf gefunden. Im Gegensatz zu den Larven aus dem Gewächshausversuch waren die aus dem Freiland sehr unterschiedlich groß (3-6 mm). Bei S. sulcifrons war die Durchschnittszahl von 5 Töpfen 18 Larven (36 %) und bei S. hispidulus von 4 Töpfen 10,5 (21 %) Larven. Diese Befunde zeigen, daß die Eier der drei genannten Sitona-Arten überwintern können.

Zur Klärung der Frage, ob auch die Larven die tiefen Temperaturen des Winters aushalten können, wurden 4 Töpfe aus dem Gewächshaus von S. flavescens am 15. 11. 1968, als also bereits Larven geschlüpft waren, ins Freiland gestellt. Am 10. 3. 1969 erfolgte die Auswertung. Dabei konnte festgestellt werden, daß viele überlebende und aktive Larven vorhanden waren. Somit konnte wenigstens

für diese Art der Beweis erbracht werden, daß auch die Larven zur Überwinterung unter Freilandbedingungen fähig sind.

Diskussion

Die im Herbst von S. flavescens, S. sulcifrons und S. hispidulus abgelegten Eier können, wie durch die Untersuchungen gezeigt wurde, wegen der niedrigen Temperaturen im Freiland nicht schlüpfen. Sie sind aber in der Lage, die ganze Kälteperiode zu überstehen und sich bei günstigeren Temperaturen im Frühjahr zu entwickeln. Diese Tatsache wurde auch im Laboratorium bestätigt: Eier, die einige Wochen bei 0°C gehalten wurden, schlüpften bei 22°C. Auch Jackson (1921b) und Markkula (1959) schreiben, daß die im Herbst abgelegten Eier von S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens bis zum Frühjahr nächsten Jahres nicht schlüpfen können. Nach Bigger (1930) und Underhill et al. (1955) überwintert S. hispidulus als Imago und als Ei. Grygorov (zit. nach Markkula 1959) berichtet dagegen, daß S. hispidulus und S. flavescens in Bulgarien nicht nur als Imago und Ei, sondern auch als Larve überwintern können.

Die Ergebnisse der Gewächshausversuche zeigten, daß die Eier der untersuchten Arten nicht in eine echte Diapause eingehen, sondern sich bei günstigen Temperaturen entwickeln können.

Daß sich die Larven von S. flavescens unter den gleichen Bedingungen wie S. sulcifrons und S. hispidulus nicht zur Puppe entwickeln, läßt sich vielleicht dadurch erklären, daß diese Art für ihre weitere Entwicklung eine höhere Temperatur als die anderen Arten benötigt.

8. Beobachtung über die Verteilung der Larven im Boden

Da die Larven von Sitona-Arten im Boden leben und vorwiegend von Bakterienknöllchen der Leguminosenpflanzen sich ernähren (Larven von S. hispidulus können auch Wurzeln fressen), müssen sie in jenem Bereich vorkommen, in dem die Bakterienknöllchen vorhanden sind. Die folgenden Versuche sollten zeigen, ob sich die einzelnen Arten hinsichtlich ihrer vertikalen Verteilung im Wurzelbereich unterscheiden.

Methode

Die Untersuchungen wurden mit Holzkästen (Größe 60 x 12 x 12 cm), die mit entsprechenden Wirtspflanzen besetzt waren, durchgeführt. Als Wirtspflanzen dienten für S. lineatus Ackerbohnen (ein Versuch mit Erbsen brachte wegen des Ausfalles der Pflanzen keine Ergebnisse), für S. humeralis Luzerne und für die übrigen Arten Rotklee. Bei jedem Versuchsglied waren ¹⁵Wiederholungen angesetzt.

Nach der Bildung von Bakterienknöllchen (Anfang Mai) wurden fünfmal 75 Eier je Kasten in die Wurzelzone der Pflanzen gegeben. Nach 6 Wochen erfolgte die Kontrolle. Hierzu wurde die Erde in drei vertikale Schichten geteilt (0-4, 4-8 und 8-12 cm) und diese getrennt auf die vertikale Verteilung der Larven der einzelnen Arten untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 13 dargestellt. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, liegt das Maximum der Verteilung bei den Larven von S. lineatus zwischen 4 und 8 cm Tiefe.

S. humeralis verteilt sich fast homogen in dem ganzen Wurzelbereich, doch ist eine leichte Zunahme der Larvenkonzentration mit zunehmender Tiefe zu beobachten.

Tabelle 13: Vertikale Verteilung der Sitona-Larven in den verschiedenen Schichten (in % der Gesamtzahl)

Arten	Wirtspflanze	0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm
<u>S. lineatus</u>	Ackerbohnen	25,2	56,1	18,7
<u>S. humeralis</u>	Luzerne	31,5	33,3	35,2
<u>S. sulcifrons</u>	Rotklee	78,0	17,6	3,8
<u>S. hispidulus</u>	Rotklee	93,2	6,8	0,0
<u>S. flavescens</u>	Rotklee	50,0	38,2	11,0

S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens sammeln sich hauptsächlich im obersten Teil des Wurzelbereiches an, wobei die Konzentration nach unten aber stark abnimmt. Bei S. hispidulus konnten ~~sogar~~ in der untersten Schicht (8-12 cm) überhaupt keine Larven gefunden werden, dagegen kamen über 93 % aller Larven in den obersten 4 cm der Wurzelzone vor.

Diskussion

Die Ergebnisse lassen vermuten, daß die Verteilung der Larven von den Wirtspflanzen abhängt und sich nach der Verteilung der Bakterienknöllchen richtet. Bei Rotklee findet sich die Hauptmasse der Wurzeln bzw. der Bakterienknöllchen in der Nähe der Bodenoberfläche. Dies konnte von El-Dessouki (mündliche Mitteilung) auch bestätigt werden. Einige Freilandbefunde anderer Autoren machenebenfalls die Bedeutung der Wirtspflanze für die Verteilung der Larven deutlich. So konnte Herron (1953) feststellen, daß die Larven von S. hispidulus an Rotklee in den oberen 7,5 cm des Bodens vorkommen, was den vorliegenden Befunden entsprechen würde. Dagegen verteilt sich S. hispidulus an Luzerne ganz anders: Underhill et al. (1955) haben die Larven in einer Tiefe bis 25 cm, Webster (1915) von 10 bis 12,5 cm gefunden. Dickason et al. (1968) konnten Schaden durch S. hispidulus-Larven an

Luzernewurzeln sogar bis in eine Tiefe von etwa 70 cm nachweisen.

9. Zusammenfassender Vergleich der untersuchten Sitona- Arten

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit sind noch einmal in der nachstehenden Übersicht zu einer allgemeinen Charakterisierung der Arten zusammengefaßt.

Arten	Verhalten gegenüber		
	Temperatur	Lichtstärke	Luftfeuchtigkeit
<i>S. lineatus</i>	eurytherm	euryphot.	euryhygr
<i>S. humeralis</i>	"	"	"
<i>S. sulcifrons</i>	"	"	"
<i>S. hispidulus</i>	stenotherm	stenophot	stenohygr
<i>S. flavescens</i>	"	"	euryhygr

Arten	Laufaktivität	Flugaktivität	Eiablageaktivität	Fraßaktivität
<i>S. lineatus</i>	++	+++	+++	++
<i>S. humeralis</i>	+	++	++	++
<i>S. sulcifrons</i>	+	+	+	+
<i>S. hispidulus</i>	+	+	+	+
<i>S. flavescens</i>	+++	++	++	+++

+++ = sehr aktiv

++ = aktiv

+ = wenig aktiv

Dem Schema ist zu entnehmen, daß sich die in dem Ober-
teil der Krautschicht vorkommenden Arten S. lineatus,
S. humeralis und S. sulcifrons in den Präferenzversuchen
als euryöke Tiere herausstellten. Diese Arten befinden
sich im Freiland in einem relativ offenen Lebensraum, wo
Temperatur, Lichtstärke und Luftfeuchtigkeit großen
Schwankungen unterworfen sind. Damit kann erklärt wer-
den, warum sie sich auch in den Orgeln in einem sehr
weitgefaßten Bereich verteilen.

Die an der Bodenoberfläche lebenden Arten S. hispidulus
und S. flavescens zeigen gegenüber Temperatur und Licht-
stärke ein stenökes Verhalten. Sie waren in fast allen
Jahreszeiten kälte- und dunkelpräferent. Gegen Luft-
feuchtigkeit wies S. hispidulus fast immer eine Bevor-
zugung der trockenen Zone auf, während S. flavescens ge-
genüber diesem Faktor keine deutliche Reaktion zeigte.

Das stenöke Verhalten dieser zwei Arten wird verständ-
lich, wenn man berücksichtigt, daß an der Bodenoberfläche
die Temperatur und Lichtstärke bzw. deren Schwankungen
nicht so groß sind.

Auch im Aktivitätsverhalten zeigen die Arten charakte-
ristische Unterschiede. S. lineatus besitzt die größte
Flugaktivität von allen untersuchten Arten, was ein
entscheidender Faktor bei Wanderung und Ausbreitung ist.
S. lineatus wechselt z. B. als einzige der untersuchten
Arten im mitteleuropäischen Raum den Biototyp zwischen
Sommer- und Winterquartier.

Die große Lauf- und Flugaktivität gibt diesem Käfer die
Möglichkeit, seinen Hauptlebensraum, einjährige Erbsen-
felder, schnell zu besiedeln.

S. humeralis hat sich nach S. lineatus bezüglich der Flug-
aktivität als eine weitere aktive Art erwiesen. Ihre
schwache Laufaktivität ist dagegen mit der von S. sulcifrons

vergleichbar. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit bei dieser Art ziemlich groß ist und die Besiedlung neu angelegter Kulturflächen durch sie im Frühjahr schnell durch Flug vor sich geht, dürfte die Laufaktivität dabei keine bedeutende Rolle spielen. Die Fraßaktivität ist etwa wie die von S. lineatus.

S. sulcifrons tritt in allen untersuchten Aktivitäten weit hinter S. lineatus, S. humeralis und S. flavescens zurück. Diese Art besitzt eine schwache Flugaktivität und ihre Laufaktivität ist außerordentlich gering. Dies ist der Grund, warum diese Art sich im Freiland nicht schnell ausbreitet. Die niedrige Fraßaktivität dürfte einerseits mit der geringen Körpergröße und andererseits mit den schwachen anderen Aktivitäten im Zusammenhang stehen.

S. flavescens weist die größte Laufaktivität von allen untersuchten Arten auf. Da auch seine Flugaktivität ziemlich groß ist, geht die Ausbreitung bei dieser Art schnell vor sich. Die Fraßaktivität dieser Art liegt - bedingt durch hohe Aktivität und erhebliche Körpergröße - an der Spitze der untersuchten Käfer.

S. hispidulus nimmt in jeder Beziehung eine Sonderstellung ein. Mit außerordentlich schwacher Flugaktivität, geringer Futteraufnahme und niedrigerer Zahl an abgelegten Eiern bleibt dieser Käfer hinter allen genannten Arten zurück. Die Annahme, daß die Fraßaktivität der Tiere mit den anderen Aktivitäten in Beziehung steht, kommt in diesem Fall noch deutlicher zum Ausdruck.

Hinsichtlich der Eiablageaktivität fällt auf, daß die Arten mit größerer Lauf- und Flugaktivität erheblich mehr Eier als die trägeren Arten ablegen. Wahrscheinlich ist bei ihnen die Überlebenschance geringer als bei ortsgebundeneren Arten.

Andererseits sind diese Arten aber aufgrund ihrer gesteigerten Beweglichkeit in der Lage, die grosse Zahl der Eier gleichmäßiger zu verteilen, wodurch eine lokale Übervölkerung vermieden wird.

10. Zusammenfassung

Untersuchungen über Biologie, Ökologie und Verhalten von S. lineatus, S. humeralis, S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens erbrachten folgende Ergebnisse:

1. Die ersten drei Arten erwiesen sich in den Präferenzversuchen als euryöke Arten und zeigten im Laufe des Jahres eine deutliche Präferenzverschiebung bei Temperatur und Licht.

Die letzten zwei Arten bevorzugten zu fast allen Jahreszeiten niedrigere Temperatur und Lichtstärke, so daß diese Arten als ausgesprochen stenotherm und stenophot bezeichnet werden können.

2. Abgesehen von S. hispidulus reagiert keine Art deutlich auf die Luftfeuchtigkeit. Nur in den Wintermonaten wird eine allgemeine Bevorzugung der trockenen Zonen durch alle Arten beobachtet.
3. Gegenüber den anderen Arten zeichneten sich S. lineatus, besonders aber S. flavescens, durch starke Laufaktivität aus. Die Laufaktivität von S. flavescens war in den Nachmittagsstunden größer als in den Vormittagsstunden. Die Männchen der letzten Art waren dabei aktiver als die Weibchen.
4. Bezüglich der Zahl der Flugphasen kann man die hier behandelten Arten in zwei Gruppen zusammenfassen:
 - a) Arten mit zwei Flugphasen (Frühjahr und Sommer/Herbst), wie S. lineatus, S. humeralis und S. flavescens. Von diesen 3 Arten ist S. lineatus die aktivste. Das Maximum der Flugtätigkeit dieser Art liegt im Mai und im August, bei S. humeralis im Mai und September und bei S. flavescens im Juni und im August.
 - b) Arten mit einer Flugphase: S. sulcifrons und S. hispidulus. Sie sind nach der Überwinterung nicht mehr flugfähig.

Die Flugaktivität ist temperaturabhängig. Die optimale Flugtemperatur liegt zwischen 26 und 30°C.

5. Alle Arten außer S. humeralis fressen in der Zeit zwischen 23 und 7 Uhr am meisten. S. humeralis zeigte während der drei untersuchten Zeitabschnitte (7-15, 15-23 und 23-7 Uhr) keine deutlichen Unterschiede. Der Futterbedarf ist von der Gesamtaktivität (Lauf-, Flug- und Eiablageaktivität) und Körpergröße der einzelnen Arten abhängig. Der höchste Nahrungsverbrauch wurde bei S. flavescens und der niedrigste bei S. hispidulus festgestellt.

Die Weibchen aller Arten fressen mehr als die Männchen.

In der Eiablageperiode ist der Nahrungsverbrauch am größten. Die Nahrungsaufnahme steigt im allgemeinen bei fast allen untersuchten Arten bis 28°C; oberhalb und unterhalb dieser Temperatur nimmt sie ab. Bei niedriger Temperatur (8°C) wurde selten Nahrung aufgenommen. Der Einfluß des Lichtes auf die Futteraufnahme wurde in diesem Versuch als ganz gering ermittelt.

6. S. lineatus hat im Gegensatz zu anderen Arten unter mitteleuropäischen Verhältnissen nur eine Eiablageperiode. Dafür ist seine Eiablageaktivität bedeutend größer als die der anderen Arten, die sowohl im Frühjahr als auch im Herbst Eier ablegen. S. hispidulus wies die kleinste Zahl von Eiern auf. Alle Arten legten in der Zeit zwischen 7 und 19 Uhr den größten Teil der Eier (55 %) ab.
7. Die Entwicklung der Eier ist von der Temperatur und Luftfeuchtigkeit abhängig. Bei 40 und 55 % rF trockneten alle Eier bei den getesteten Temperaturen (8,12,18, 22,28 und 32°C) aus. Mit steigender Temperatur muß auch die Luftfeuchtigkeit steigen, um eine Entwicklung der Eier

zu gewährleisten; so trockneten alle Eier bei 28°C und 75 % rF aus, während bei 12, 18 und 22°C und der gleichen Luftfeuchtigkeit ein Teil der Eilarven schlüpften.

Die Entwicklungsdauer war naturgemäß temperaturabhängig. Über 28°C wurde eine Verzögerung der Entwicklung beobachtet. Die kürzeste Entwicklungsdauer war bei 28°C festgestellt worden. Das Optimum der Schlüpftrate von Eilarven lag bei 22°C und 90 % rF. Bei niederen Temperaturen (8°C) kamen die Eier nicht zur Entwicklung, sobald diese aber in günstigere Temperaturen überführt wurden, entwickelten sie sich weiter. Ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklungsdauer hatte sich nicht ergeben.

8. Im Freiland entwickeln sich die im Herbst abgelegten Eier wegen der niedrigen Temperatur nicht weiter. Sie überstehen die Kälteperiode und im Frühjahr schlüpfen die Eilarven. Bei S. flavescens konnte nachgewiesen werden, daß schon im Herbst geschlüpfte Larven überwintern, und sich im Frühjahr weiterentwickeln können. Gewächshausversuche ergaben, daß die Eier keine echte Diapause eingehen.
9. Die Verteilung der Larven im Boden ist von der Verteilung der Wurzeln bzw. der Bakterienknöllchen abhängig. Die auf Rotklee lebenden Arten wie S. sulcifrons, S. hispidulus und S. flavescens konzentrieren sich hauptsächlich in der obersten Bodenschicht, die vom Klee intensiv durchwurzelt ist. Im Gegensatz zu den Larven der oben genannten Arten kommen die von S. humeralis (Luzerne) in tieferen Schichten von 8-12 cm und die von S. lineatus an Bohnenwurzeln in der Schicht zwischen 4 und 8 cm vor.

11. Literatur

- Andersen, K.T. Der linierte Graurüssler oder Blatt-
randkäfer (S. lineata L.) Monograph.
Z. Pflanzenschutz 6, 1-88, 1931
- Analyse des Schadens und Massen-
wechsels des linierten Blattrand-
käfers (S. lineata L.). Seine Be-
kämpfung und Abwehr. Landwirtsch.
Jb. 78, 55-79, 1933
- Kurze Mitteilung über weitere Ver-
suche zur Biologie und Ökologie
von Sitona lineata L.
Verh. Dtsch. Ges. angew. Ent. 9,
41-49, 1934a
- Der Einfluß der Umweltbedingungen
(Temperatur und Ernährung) auf die
Eierzeugung und Lebensdauer eines
Insekts (S. lineata L.) mit postme-
taboler Eientwicklung und langer
Legezeit. Z. angew. Ent. 20, 85-116,
1934b
- Bigger, J.H. Notes on life history of the clover
root curculio, Sitona hispidula Fab.,
in central Illinois. J. econ. Ent.
22, 334-342, 1930
- Calkins, C.D.
and Manglitz, G.R. Seasonal changes in daily activity
periods of the sweetclover weevil.
J. econ. Ent. 61, 391-394, 1968
- Dickason, E.A.,
Leach, C. M. and
Gross, A.E. Control of the clover root curculio
on alsike clover. J. econ. Ent. 51,
554-555, 1958

- Dickason, E.A.,
Leach, C. M. and
Gross, A.E. Clover root curculio injury and
vascular decay of alfalfa root.
J. econ. Ent. 61, 1163-1168, 1968
- Dickler, E. Untersuchungen zur Besiedlung von
wiesennahen Leguminosenkulturen durch
Rüsselkäfer. Z. angew. Zool. 55,
129-192, 1968
- Forsythe, H.J.
and Gyrisco, G.G. Evaluating the control of the clover
root curculio larvae on alfalfa.
J. econ. Ent. 55, 906-908, 1962
- Geiger, R. Das Klima der bodennahen Luftschicht.
Die Wissenschaft 78, 6-48, 1950
- Geiler, H. Die witterungsbedingte Fluktuation
der Evertebratenfauna von Luzernebe-
ständen mit besonderer Berücksichti-
gung des Epigaions und des Dürre-
jahres 1959. Z. Pflkrankh. Pflpath.
Pflschutz, 71, 450-464, 1964
- Die Coleopteren des Luzerne-Epi-
gaions von Nordwestsachsen. Fauni-
stische Abhandlungen. Staatliches
Museum f. Tierkunde in Dresden 2,
20-36, 1967
- Georg, O. P. and
Gyrisco, G. G. Effect of light, temperature and
relative humidity on the diel
behavior of the alfalfa weevil,
Hypera postica. J. econ. Ent. 53,
675-677, 1960
- Hans, H. Beiträge zur Biologie von Sitona
lineatus L. Z. angew. Ent. 44, 343-
386, 1959

- Hans, H. Termination of diapause and continuous laboratory rearing of the sweet clover weevil, *Sitona cylindricollis* Fabr. Ent. Exp. Appl. 4, 41-46, 1961
- Hansen, H.L. Effect of granular Dieldrin and Heptachlor on adult weevil populations in red clover. J. econ. Ent. 50, 224, 1957
- Heydemann, B. Agrarökologische Problematik, dargestellt an Untersuchungen über die Tierwelt der Bodenoberfläche der Kulturfelder. Dissertation Kiel 1953
- Herron, J.C. Biology of the sweet clover weevil and notes on the biology of the clover root curculio. Ohio. J. Sci. 53, 105-112, 1953
- Jackson, D.J. Bionomic of weevils of the genus *Sitona* injurious to leguminous crops in Britain. Ann. appl. Biol. 7, 269-298, 1921a
- .-.- Notes on the distribution of the genus *Sitona* in the north of Scotland. Scottish Naturalist, (119-120), 178, 1921b (nach Rev. appl. Ent. 10, 177, 1922)
- .-.- Further observations on *S. lineatus* L. Ann. appl. Biol. 9, 69-71, 1922
- Kirchner, H. Untersuchungen zur Ökologie feldbewohnender Carabiden. Diss. Köln 1960

- Lauterbach, A.W. Verbreitungs- und aktivitätsbestimmende Faktoren bei Carabiden in sauerländischen Wäldern. Abh. Landesmus. Naturkd. Münster 26, 5-103, 1964
- Leach, C.M. Effect of insecticides on insects and pathogenic fungi associated with alsike clover root. J. econ. Ent. 54, 543-546, 1961
- Dickason, E.A. and Gross, A.E.
- Lehmann, H.C. Luzerneschädlinge, 1. Rüsselkäfer: *Phytonomus variabilis* Herbst, *S. lineata*, L. und *Apion pisi* F. Z. Pflkrankh. Pflpath. Pflschutz. 43, 625-638, 1933
- Lehmann, H.C. und Klinkowski, M. Zur Pathologie der Luzerne. 1. Die schädlichen Rüsselkäfer (Curculionidae). Ent. Beihefte 9, 1-78, 1942
- Lehmann, H. Ökologische Untersuchungen über die Carabidenfauna des Rheinufers in der Umgebung von Köln. Diss. Köln 1962
- Markkula, M. The biology and especially the oviposition of the *Sitona* Germ. (Col., Curculionidae) species occurring as pests of grassland legumes in Finland. Publ. Finn. State Agric. Res. Board 178, 41-74, 1959
- Markkula, M. and Köppää, P. The composition of *Sitona* (Col., Curculionidae) population on grassland legumes and some other leguminous plants. Ann. Ent. Fenn. 26, 246-263, 1960

- Markkula, M. and Roivainen, S. The effect of temperature, food-plant and starvation on the oviposition of some Sitona (Col., Curculionidae) species. Ann. Ent. Fenn. 27, 30-45, 1961
- Marshall, G.E. and Wilbur, D.A. The clover root curculio (Sitona hispidula Fab.) in Kansas. J. econ. Ent. 27, 807-814, 1934
- Marteli, G.M. Notizie su due Sitona delle leguminose (S. lineatus L. e S. limosus Rossi) Coleoptera-Curculionidae. Sci. Tec. agrar. 4, 15 S. 1964 (nach Rev. appl. Ent. 53, 270-271, 1965)
- Melamed-Madjar, V. Observations on four species of Sitona (Coleoptera, Curculionidae) occurring in Israel. Bull. Ent. Res. 56, 505-514, 1966
- Müller, H. Zur Populationsdynamik von Sitona Germar (Curculionidae) auf Luzerne und Rotklee unter besonderer Berücksichtigung entomophager Parasiten. Zool. Jb. Syst. 90, 659-696, 1963
- Norman, E.L. and Robert, S.F. Injury of clover root curculios to red clover in New Jersey. J. econ. Ent. 52, 1155-1156, 1959
- Paarmann, W. Untersuchungen über die Bindung zweier Carabidenarten (P. angustatus DFT und P. oblongopunctatus F.) an ihre verschiedenen Lebensräume. Z. wissenschaft. Zoologie, 174, 83-176, 1966

- Phillips, W.C.
and Ditman, L.P. Studies on biology and economic importance of the clover root curculio Sitona hispidula (Fab.) in Maryland. Agric. Exp. Station. Bull. (A-121), 1-16, 1962
- Prescott, H.W.
and Newton, R.C. Flight study of the clover root curculio. J. econ. Ent. 56, 368-370, 1963
- Rautapää, J. and
Markkula, M. Diapausal aestivation of clover root curculio, Sitona hispidulus Fabr. (Col., Curculionidae). Ann. Ent. Fenn. 32, 146-152, 1966
- Scherf, H. Progressive Eiverfärbung bei Curculioniden und ihre Problematik. Zool. Anzeiger, 165, 47-54, 1960
- Schnell, W. Synökologische Untersuchungen über Rüsselkäfer der Leguminosenkulturen. Z. angew. Ent. 37, 192-238, 1955
- Stein, W. Die Rüsselkäferfauna des Grünlandes und ihre phytopathologische Bedeutung. Z. angew. Ent. 60, 3-59 und 141-181, 1967
- Zur Biologie, Morphologie und Verhaltensweise von Apion virens Herbst. (Col., Curculionidae). Oecologia 1, 49-86, 1968
- Zum Wander- und Ausbreitungsverhalten von Curculioniden. XIIIth Internat. Congr. Entomolo, Moscow (1968) Proceedings (im Druck)

- Thiele, H.U. Ökologische Untersuchungen an boden-
bewohnenden Coleopteren einer Hecken-
landschaft. Z. Morph. Ökol. Tiere
53, 537-586, 1964
- Ein Beitrag zur experimentellen Ana-
lyse von Euryökie und Stenökie bei
Carabiden, Z. Morph. Ökol. Tiere
58, 355-372, 1967
- Thompson, L.S.
and Willis, C.B. Distribution and abundance of *Sitona*
hispidula (F.) and the effect of
insect injury on root decay of red
clover in the Maritime Provinces.
Canad. J. Plant Sci. 47, 435-440,
1967
- Turner, E.C. Control of the clover root curculio
on alfalfa. J. econ. Ent. 50, 645-
648, 1957
- Underhill, G.W.,
Turner, E.C. and
Henderson, R. C. Control of the clover root curculio
on alfalfa with notes on life history
and habits. J. econ. Ent. 48, 184-187,
1955
- Webster, F.M. Alfalfa attacked by the clover root
curculio. U.S. Dep. Agric. Wash. D.
C. Farm. Bull. (649), 1-8, 1915
- Wildermuth, Y.L. The clover root curculio. U.S. Dep.
Agric. Bur. Ent. Bull. (85),
29-38, 1910
- Zangheri, S. Contributo alla conoscenza dell'ento-
mofauna della leguminosi da Sense.
Bull. dell'ist. d.Ent. Bologna,
18, 93-116, 1952 (nach Rev. appl.
Ent. 42, 109, 1954)

Ziemann, H.

Zur Ökologie der an Luzerne
schädlich auftretenden Rüsselkäfer.
Wissensch. Z. Univ. Leipzig 8, 217-
231, 1959

Herrn Professor Dr. W. Stein danke ich für die Überlassung des Themas der Arbeit und die wertvolle wissenschaftliche Anleitung sowie für die zu jeder Zeit freundlich gewährte Hilfe.

Herrn Professor Dr. F. Großmann bin ich zu Dank verpflichtet, da er mir die Gelegenheit gegeben hat, im Phytopathologischen Institut als Doktorand zu arbeiten.

Für die freundliche Zusammenarbeit möchte ich allen Institutsangehörigen herzlich danken.

Ferner danke ich auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung der Arbeit.

Lebenslauf

Am 15. 4. 1935 wurde ich als Sohn des Landwirtes Ghorban Ali Rezwani und seiner Ehefrau Zobeida geboren.

Von 1950 bis 1952 habe ich die Volksschule im Kreis Nowshahr und die Volksschule Entessaria Teheran besucht.

Von 1953-1957 ging ich in die Oberschule Schahpour in Chalus und beendete meine Oberschulausbildung in der Oberschule Marvie in Teheran 1958.

Von 1959 - 1961 war ich als Angestellter in der Teheraner Bank in Teheran beschäftigt.

Am 27. Juli 1961 traf ich in der Bundesrepublik ein.

Vom 15. 8. 1961 bis 15. 4. 1962 arbeitete ich als landwirtschaftlicher Praktikant in dem landwirtschaftlichen Betrieb von Josef Thelen im Kreis Übach-Palenberg.

Vom 1. 5. 1962 bis 15. 10. 1962 besuchte ich das Studienkolleg für die Hochschulreifeprüfung in Darmstadt.

Vom 1. 11. 1962 bis November 1966 studierte ich Landwirtschaft an der Justus Liebig-Universität in Giessen. Dort legte ich im November 1966 die Diplomprüfung in der Fachrichtung Pflanzenproduktion ab.

Ab 1. 4. 1967 bin ich Doktorand am Institut für Phytopathologie und mit der vorliegenden Arbeit beschäftigt.

